



**FINAL PROJECT - TF 141581**

# **OUTPUT VOLTAGE CONTROL SYSTEM OF SINGLE PHASE BUCK BOOST INVERTER WITH BUFFER INDUCTOR USING SLIDING MODE CONTROL**

**ALMAS FACHRULLAH**  
NRP. 2411 100 076

Supervisor  
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.  
NIP.19620822 198803 1 001

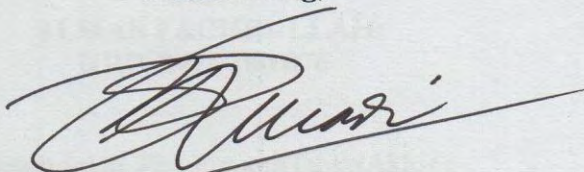
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**SISTEM PENGENDALIAN TEGANGAN KELUARAN PADA  
INVERTER BUCK BOOST SATU FASA DENGAN INDUKTOR  
PENYANGGA MENGGUNAKAN METODE  
SLIDING MODE CONTROL**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh :  
Almas Fachrullah  
NRP. 2411 100 076**

**Surabaya, 8 Januari 2015  
Mengetahui/Menyetujui,  
Pembimbing,**



**Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.**  
**NIP 19620822 198803 1 001**

**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.**  
**NIP. 19650309 199002 1 001**

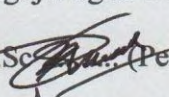
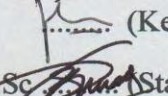
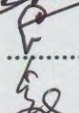

**SISTEM PENGENDALIAN TEGANGAN KELUARAN PADA  
INVERTER BUCK BOOST SATU FASA DENGAN INDUKTOR  
PENYANGGA MENGGUNAKAN METODE  
SLIDING MODE CONTROL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**ALMAS FACHRULLAH**  
**NRP. 2411 100 076**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.  (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT ..... (Ketua Tim Penguji)
3. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.  (Staf Penguji)
4. Hendra Cordova ST, MT ..... (Staf Penguji)
5. Lizda Johar Mawarani, ST, MT  (Staf Penguji)
6. Detak Yan Pratama, ST, M.Sc.  (Staf Penguji)

**SURABAYA  
JANUARI 2015**

# **SISTEM PENGENDALIAN TEGANGAN KELUARAN PADA INVERTER BUCK BOOST SATU FASA DENGAN INDUKTOR PENYANGGA MENGGUNAKAN METODE *SLIDING MODE CONTROL***

**Nama** : Almas Fachrullah  
**NRP** : 2411100076  
**Jurusan** : Teknik Fisika, FTI-ITS  
**Pembimbing** : Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc

## **ABSTRAK**

*Inverter merupakan salah satu komponen terpenting pada pembangkit daya listrik terdistribusi (Distributed Generator-DG system), dengan tugas utama mengubah tegangan DC menjadi AC. Ada banyak topologi inverter, salah satunya adalah Inverter buck boost satu fasa dengan induktor penyangga (IBBSF-IP). Kelebihan dari IBBSF-IP jenis ini adalah dapat menghasilkan nilai tegangan keluaran hampir 5 kali tegangan masukan. Sliding Mode Control(SMC) merupakan salah satu metode kontrol yang banyak digunakan pada sistem pengendalian converter, inverter, motor maupun sistem robotika. SMC memiliki sifat robust yaitu insensitif terhadap perubahan parameter. Tugas Akhir ini akan membahas implementasi kontrol SMC pada IBBSF-IP secara simulasi menggunakan perangkat lunak Simulink MATLAB R2009A dan Power simulator versi 9.0.3. Pengujian sistem dilakukan secara open loop, closed loop dan sensitifitas dengan parameter tegangan input dan beban yang divariasikan. Pada uji open loop dengan tegangan sumber 60 Volt, IBBSF-IP menunjukkan grafik tegangan keluaran berbentuk gelombang sinusoidal dengan amplitudo maksimum mendekati 400 Volt. Pada uji closedloop grafik tegangan keluaran IBBSF-IP dapat dikontrol untuk mengikuti setpoint dengan menggunakan metode kontrol SMC orde 2 dengan nilai %Ess terkecil pada 311 Volt yaitu 1.02%. Pada uji sensitifitas sistem dengan memvariasikan nilai tegangan masukan dan nilai resistansi didapat bahwa semakin besar perubahan kedua parameter tersebut dari nilai referensi maka nilai sensitivitas akan semakin kecil, dengan nilai sensitivitas terkecil 0.29 jika terjadi perubahan tegangan masukan 32% dan 0.0002 jika terjadi perubahan resistansi sebesar 3700%.*

**Kata Kunci ---- Inverter, IBBSF-IP, SMC**

# **OUTPUT VOLTAGE CONTROL SYSTEM OF SINGLE PHASE BUCK BOOST INVERTER WITH BUFFER INDUCTOR USING SLIDING MODE CONTROL**

**Name : Almas Fachrullah**  
**NRP : 2411100076**  
**Department : Teknik Fisika, FTI-ITS**  
**Supervisor : Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc**

## **ABSTRACT**

*Inverter is one of the most important thing on Distributed Generator System (DG System), with the main task is to convert from DC Voltage to AC Voltage. There are many type of inverter, Single Phase Buck Boost Inverter with Buffer Inductor (SPBBI-BI) is one of them. The advantage of SPBBI-BI is it has an output voltage five times higher than input voltage. Sliding Mode Control (SMC) is one of the control method that often used in control of Converter, Inverter, Motor and robotic system. SMC has a robust behavior that insensitive to parameter change. This Final Project enlight about implementation of SMC control in SPBBI-BI through simulation in Simulink MATLAB R-2009A and Power Simlutaor Version 9.0.3. System tested in 3 ways which is open loop, closed loop and sensitivity test. On the open loop test with 60 volt input voltage, SPBBI-BI has sinusoidal output voltage and the amplitude approximately at 400 volt. On the closed loop test, SPBBI-BI well being controlled according to setpoint feed on orde 2 SMC with minimum 1.02% Ess at 311 Volt Setpoint. On the Sensitivity test which is vary the value of input voltage and Resistance load, system sensitivity became lower if change in 2 parameter getting higher, with minimum sensitivity is 0.29 if input voltage change 32% and 0.00002 if resistance change 3700%.*

**Keywords ---- Inverter, IBBSF-IP, SMC**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Sistem Pengendalian Tegangan Keluaran Pada Inverter Buck Boost Satu Fasa Dengan Induktor Penyangga Menggunakan Metode Sliding Mode Control**”. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan rahmat yang begitu besar serta tuntunan utama dalam kehidupan ini.
2. Ibu, Bapak, Mbah uti, Mbah Azis, Mbah Siradj dan Mbah nyek yang tidak kenal lelah memberi kasih sayang, mencari rezeki, dan memberi dukungan demi mengangkat derajat pendidikan anak-anak mereka.
3. Adek saya tersayang Fajrina Rizkiah sebagai motivasi utama penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, meskipun akhirnya Tuhan mengambilnya terlebih dahulu sebelum Tugas Akhir ini selesai.
4. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika yang telah sabar memberikan dukungan, bimbingan, serta ilmu yang sangat bermanfaat.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
7. Kepada Firdiana Nurachmawati sebagai teman hidup seperjuangan ketika keadaan susah maupun senang
8. Yusnia Hamidah, Mega Arintika Y dan Keluarga besar F46 (TF 2011) yang sudah bersama-sama dan banyak membantu mengenai tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis jugaberharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 23 Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan masalah .....	2
BAB II .....	3
SISTEM PENGENDALIAN INVERTER .....	3
2.1 Inverter .....	3
2.2 Inverter buck boost satu fasa dengan induktor penyangga (IBBSF-IP) .....	5
2.3 Sliding Mode Control (SMC) .....	8
2.4 Sinusoidal Pulse Width Modulation .....	13
2.5 Filter Sinyal .....	14
2.6 Sensitifitas Sistem dan Robustness .....	17
BAB III .....	19
METODOLOGI PENELITIAN .....	19
3.1 Studi literatur .....	20
3.2 Model plant sistem IBBSF-IP tanpa kontroler .....	20
3.3 Perancangan kontroler IBBSF-IP dengan metode SMC .....	25
3.4 Implementasi dan simulasi kontroler SMC pada BBSF-IP .....	28
3.5 Analisis data dan penyusunan laporan .....	29
BAB IV .....	31
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1 Respon <i>open loop</i> IBBSF-IP .....	31
4.2 Respon <i>Closed Loop</i> pada IBBSF-IP menggunakan	



	SMC.....	34
4.3	Respon sensitivitas sistem pengendalian IBBSF-IP dengan perubahan beban dan tegangan input .....	38
BAB V	.....	41
PENUTUP	.....	41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	41
Daftar Pustaka	.....	43

## DAFTAR GAMBAR

### BAB II

Gambar 2. 1 Inverter buck.....	3
Gambar 2. 2 Inverter boost.....	4
Gambar 2. 3 Inverter buck-boost.....	5
Gambar 2. 4 Rangkaian IBBSF-IP .....	6
Gambar 2. 5 Perbandingan respon tegangan inverter.....	7
Gambar 2. 6 Grafik tegangan maksimum keluaran terhadap frekuensi sinyal .....	7
Gambar 2. 7 Pergerakan trayektori variabel keadaan pada sliding surface .....	9
Gambar 2. 8 Sifat ketercapaian (Reaching mode) dan sifat keadaan (sliding mode) pada SMC .....	11
Gambar 2. 9 Sinyal masukan (atas) dan keluaran (bawah) pada SPWM.....	14
Gambar 2. 10 Bode plot untuk <i>lowpass</i> filter.....	15
Gambar 2. 11 Bode plot untuk <i>highpass</i> filter .....	16
Gambar 2. 12 Bode plot untuk <i>bandpass</i> filter.....	17

### BAB III

Gambar 3. 1 Diagram alir tugas akhir .....	19
Gambar 3. 2 Rangkaian plant IBBSF-IP .....	20
Gambar 3. 3 a) rangkaian equivalent kondisi 1 b)rangkaiian equivalent kondisi 2 .....	23
Gambar 3. 4 Blok diagram uji <i>open loop</i> IBBSF-IP .....	24
Gambar 3. 5 Elemen-elemen penyusun SPWM .....	25
Gambar 3. 6 Elemen-elemen penyusun <i>gatedrive</i> .....	25
Gambar 3. 7 Diagram blok SMC.....	27
Gambar 3. 8 Diagram blok sistem pengendalian.....	29

### BAB IV

Gambar 4. 1 Rangkaian uji <i>open loop</i> IBBSF-IP .....	31
Gambar 4. 2 (a) Sinyal Pembawa/Hijau & Sinyal Control/Biru SPWM (b) Sinyal Keluaran SPWM.....	32
Gambar 4. 3 Respon Tegangan <i>Open Loop</i> IBBSF-IP menggunakan MATLAB R2009A ; Modulation Ratio = 0.8 .....	33
Gambar 4. 4 Respon tegangan <i>open loop</i> IBBSF-IP menggunakan P-SIM; Modulation Ratio = 0.8 ...	33

Gambar 4. 5 Respon tegangan IBBSF-IP closed loop (a) SP=36V; (b) SP=120V; (c) SP=240V; (d) SP=311V; (e) SP=400V .....	37
Gambar 4. 6 Respon Closed Loop IBBSF-IP Setpoint=300 Volt dengan Variasi Tegangan Masukan (a) $V_{in}=50\text{ V}$ ; (b) $V_{in}=40\text{ V}$ .....	38

## DAFTAR TABEL

### BAB III

Tabel 3. 1 Data uji closed loop sistem.....	30
Tabel 3. 2 Data Uji Sensitifitas Sistem dengan Variasi $V_{in}$ .....	30
Tabel 3. 3 Data Uji Sensitifitas Sistem dengan Variasi $R$ .....	30

### BAB IV

Tabel 4. 1 Nilai Komponen penyusun Uji <i>Open Loop</i> IBBSF- IP .....	32
Tabel 4. 2 Nilai parameter penyusun uji closed loop IBBSF- IP .....	34
Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Respon Closed Loop IBBSF-IP .....	35
Tabel 4. 4 Data tegangan keluaran dengan variasi Tegangan input.....	39
Tabel 4. 5 Data tegangan keluaran dengan variasi Resistansi; $SP=300$ .....	40

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting pada saat ini. Kebutuhan listrik dunia pada tahun 2001 berada pada kisaran 13934 TWh dan diperkirakan akan terus meningkat hingga 24673 TWh pada tahun 2025 dengan peningkatan rata-rata sebesar 2.4% tiap tahunnya[1]. Masalah yang terjadi saat ini adalah pembangkit energi listrik yang digunakan sebagian besar menggunakan bahan bakar yang tidak terbarukan contohnya seperti minyak, gas alam dan batu bara.

Pembangkit daya listrik terdistribusi (Distributed Generator-DG system) merupakan salah satu solusi yang dapat menyelesaikan masalah yang telah disebutkan diatas. Beberapa contoh DG system adalah pembangkit listrik tenaga angin, pembangkit listrik tenaga matahari, pembangkit listrik tenaga mikrohidro, sistem power mobil listrik dll. Inverter merupakan salah satu komponen terpenting pada DG system, yang tugas utamanya adalah mengubah variable tegangan dari DC menjadi AC baik itu 1 fasa maupun 3 fasa. Ada berbagai macam tipe dan topologi Inverter yang telah digunakan, salah satu topologi inverter baru saat ini adalah Inverter Buck Boost satu fasa dengan induktor penyangga (IBBSF-IP). Kelebihan dari inverter jenis ini adalah dapat menghasilkan nilai tegangan keluaran hampir 2 kali tegangan masukan yang diberikan serta sangat cocok digunakan sebagai drive motor induksi yang biasanya digunakan pada mobil listrik[2].

Tugas penting dari inverter lainnya adalah inverter dapat digunakan untuk mengontrol tegangan keluaran yang dihasilkan oleh inverter meskipun sumber energi dan beban yang ada sifatnya fluktuatif. Maka dari itu, sistem pengendalian pada inverter sangat penting untuk diterapkan. *Sliding Mode Control*(SMC) merupakan salah satu metode kontrol yang biasa digunakan untuk sistem yang nonlinier dan juga sistem switching atau tidak bersifat kontinyu. Metode ini banyak digunakan pada sistem pengendalian *Converter, Inverter, Motor* maupun Sistem

Robotika. Sliding mode control juga memiliki sifat robust yaitu insensitif terhadap perubahan parameter[3].

Dari sifat-sifat SMC tersebut, maka diharapkan dengan penggunaan metode SMC IBBSF-IP dapat dikontrol dengan baik. Beberapa parameter yang ingin dicapai pada tugas akhir ini diantaranya tegangan keluaran IBBSF-IP dapat mengikuti setpoint, Tegangan keluaran yang dihasilkan mempunyai Error steady state (Ess) dan Over shoot rendah serta tegangan keluaran mempunyai tingkat sensitifitas yang rendah pula jika terjadi perubahan nilai tegangan masukan dan beban yang diberikan.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang dapat diangkat adalah bagaimana mendesain kontroller yang tepat untuk mengontrol tegangan keluaran dari IBBSF-IP menggunakan metode SMC dengan perubahan nilai parameter beban dan tegangan masukan.

## 1.3 Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mendesain sistem kontrol dengan parameter kontrol yang tepat pada metode SMC sehingga dapat mengendalikan tegangan keluaran dari IBBSF-IP dengan perubahan nilai parameter beban dan tegangan masukan.

## 1.4 Batasan masalah

Adapun batasan masalah dalam penenitian ini antara lain:

1. Inverter yang digunakan mempunyai topologi IBBSF-IP.
2. Metode kontrol yang digunakan adalah *SMC*.
3. Komponen pada keseluruhan sistem kontrol diasumsikan bersifat ideal dengan nilai beban tetap dan tegangan masukan yang bervariasi.
4. Variabel proses yang dikontrol adalah tegangan keluaran inverter.
5. Pengambilan respon sistem dilakukan melalui simulasi dengan software Simulink MATLAB R2009a dan PSIM Professional Version 9.0.3.400.

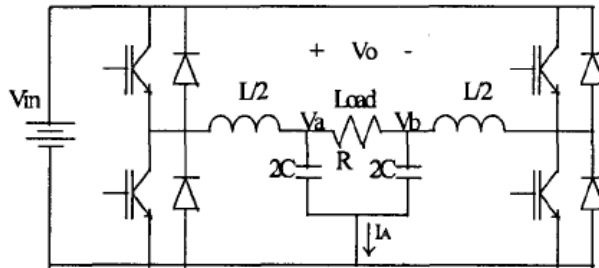
## BAB II

### SISTEM PENGENDALIAN INVERTER

#### 2.1 Inverter

Inverter merupakan suatu alat konversi daya listrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah/DC menjadi arus listrik bolak-balik/AC dengan besar tegangan dan frekuensi yang dikendalikan[4]. Bila ditinjau dari prinsip kerjanya inverter dibagi menjadi 2 jenis yaitu single stage inverter dan Multiple Stage Inverter, sedangkan jika ditinjau dari tegangan keluarannya yaitu Buck Inverters, Boost Inverters dan Buck Boost Inverter.

- Inverter buck



**Gambar 2. 1** Inverter buck

Inverter buck merupakan inverter yang tegangan AC keluarannya tidak dapat lebih besar daripada tegangan masukannya. Cara kerjanya adalah switch bekerja On-Off secara bergantian, dengan syarat dalam satu lengan tidak boleh sama-sama kondisi On, untuk menghasilkan sinyal kotak bipolar. Kemudian filter LC mengubah sinyal kotak tadi menjadi sinyal sinusoidal. Untuk mengatur besarnya tegangan keluaran dari inverter Buck dapat digunakan transfer fungsi yang ada pada persamaan 2.1.

$$V_o = V_a - V_b = dV_{in} - (1 - d)V_{in}$$

maka

$$\frac{V_o}{V_{in}} = 2d - 1 \quad (2.1)$$

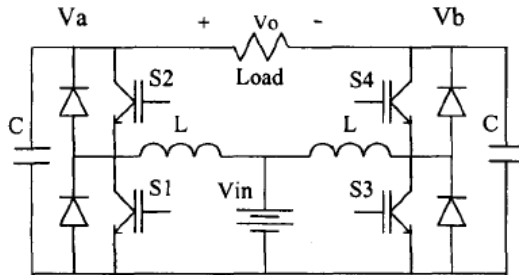
Dimana :

$V_o$  = Tegangan Keluaran

$V_{in}$  = Tegangan Masukan

$d$  = duty cycle

- Inverter boost



**Gambar 2. 2** Inverter boost

Inverter Boost dapat menghasilkan tegangan keluaran yang nilainya lebih besar dari tegangan masukan tergantung dari nilai Duty Cycle nya. Cara kerja dari Inverter boost yaitu dengan memadukan 2 Converter boost DC-DC yang setiap konverter tersebut menghasilkan gelombang sinusoidal DC bias. Kemudian memodulasikan 2 converter tersebut dengan beda fasa sebesar  $180^\circ$  sehingga didapatkan gelombang sinusoidal pada beban. Hubungan tegangan keluaran dan masukan dapat diperoleh sesuai dengan transfer fungsi pada persamaan 2.2

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{2d - G_m(1 - d)}{1 - d} \quad (2.2)$$

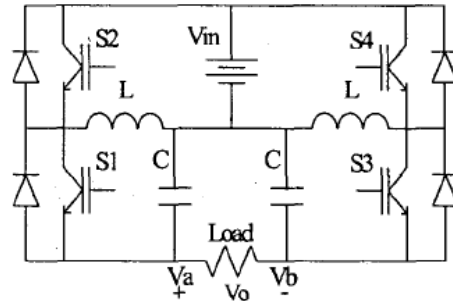
Dimana:  $G_m = V_{op}/V_{in}$  = maximum gain

$V_{op}$  = amplitudo tegangan keluaran

$V_a$  = Tegangan kapasitor



- Inverter buck boost



**Gambar 2. 3** Inverter buck-boost

Pada jenis inverter buck boost, tegangan keluaran dapat lebih besar/lebih kecil dari tegangan masukan. Hal ini tergantung pada nilai duty cyclenya. Hal ini ditunjukkan dari transfer fungsi pada keadaan steady state sesuai dengan persamaan 2.3[8]

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{2d - G_m(1 - d)}{1 - d} \quad (2.3)$$

Dimana:  $G_m = V_{op}/V_{in} = \text{maximum gain}$

$V_{op} = \text{amplitudo tegangan keluaran}$

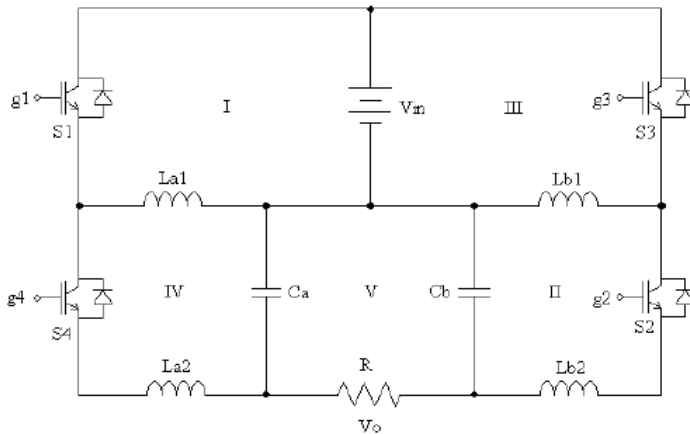
$V_a = \text{Tegangan kapasitor}$

Dari semua jenis inverter yang telah disebutkan diatas, Aplikasinya dapat digunakan pada beberapa Hal. Contohnya Inverter banyak digunakan pada sistem pembangkitan energi listrik, filter active, sistem kontrol mobil listrik dll[5].

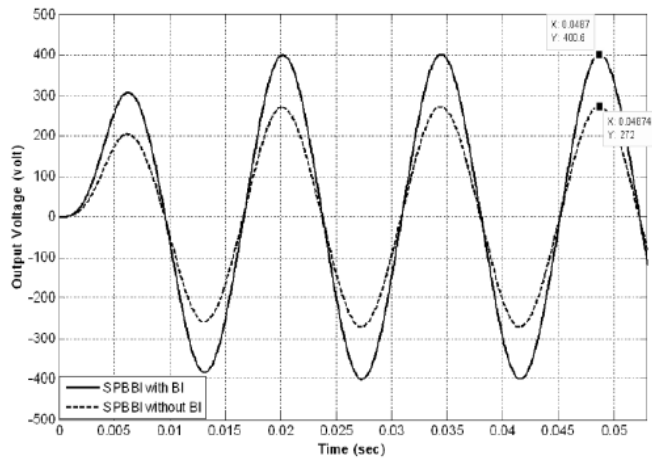
## 2.2 Inverter buck boost satu fasa dengan induktor penyangga (IBBSF-IP)

Inverter Buck Boost satu fasa dengan induktor penyangga merupakan salah satu topologi inverter jenis baru dengan jenis single stage inverter dan merupakan turunan dari Inverter Buck Boost Tiga Fasa dengan Induktor Penyangga. Inverter ini merupakan jenis Buck Boost Inverter sehingga dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar/ kecil dari sumber DC masukan.

Perbedaan utama inverter jenis ini adalah adanya induktor penyangga pada terminal keluaran inverter seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.4** yang nantinya induktor penyangga ini akan berguna untuk lebih banyak menyimpan muatan dan akan menyebabkan tegangan keluaran yang lebih besar daripada jenis Inverter Buck Boost tanpa induktor penyangga seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.5**. Inverter jenis ini dapat menghasilkan tegangan hingga lebih dari 2 kali (120 Volt DC menjadi 275.7 Volt AC )tegangan masukan untuk beban yang tetap. Selain itu, dalam penggunaan 3 fasanya, Inverter ini dinilai sangat cocok digunakan untuk mendrive motor induksi 3 fasa sehingga dapat juga digunakan untuk mobil listrik[2].

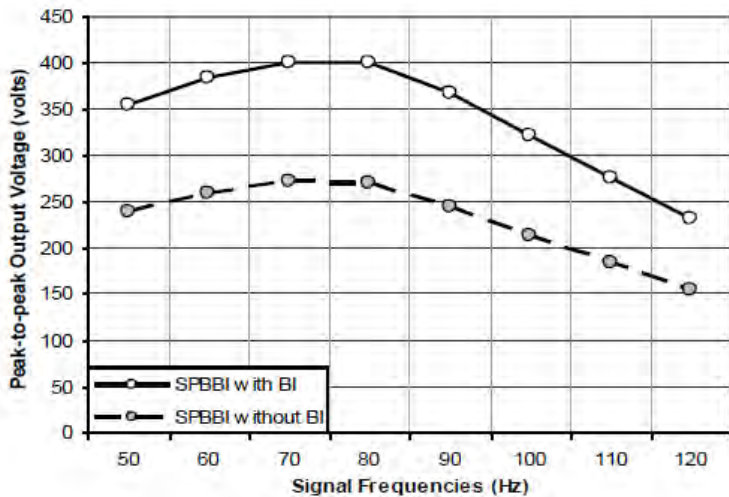


**Gambar 2. 4** Rangkaian IBBSF-IP



**Gambar 2. 5** Perbandingan respon tegangan inverter

Selain itu, dengan frekuensi 70 Hz didapat penguatan maksimum dari SPBBI-BI mencapai 400 volt sedangkan untuk SPBBI tanpa BI penguatannya hanya bisa mencapai 270 Volt seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.6** [8].



**Gambar 2. 6** Grafik tegangan maksimum keluaran terhadap frekuensi sinyal

### 2.3 Sliding Mode Control (SMC)

Sliding mode control merupakan salah satu metode kontrol yang banyak digunakan untuk kontrol sistem non-linear termasuk kontrol pada sistem-sistem power electronics seperti pada power converter, Inverter, filter aktif dan lain sebagainya. Keunggulan utama dari sliding mode control adalah mempunyai sifat Robust sehingga dapat mengatasi sistem kontrol dengan parameter yang cenderung berubah-ubah[6].

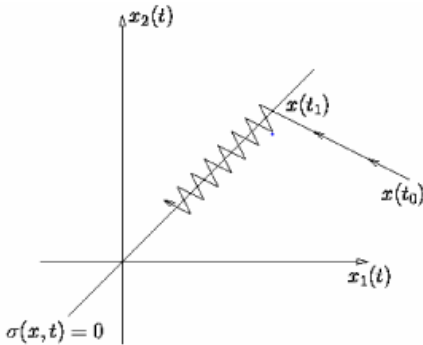
Pada kontrol menggunakan SMC hal terpenting yang harus ada adalah *sliding surface* ( $S$ ) yang merupakan titik acu dari trayektori variabel keadaan yang dikontrol agar mencapai kestabilan dan merupakan kombinasi linear dari state-variabel tersebut (persamaan 2.4). Sliding surface merupakan hal penting dalam kontrol SMC karena setiap state-variabel yang posisinya ada dalam trajectory sliding surface nilainya akan menuju suatu titik konvergensi atau titik nol pada phase plane trajectory seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.7**. Maka dari itu kontrol yang digunakan harus dapat mendorong trajectory dari variabel keadaan menuju sliding surface dalam waktu tertentu dan dapat mempertahankannya.

$$S(x, t) = \sum_{i=0}^n c_i \cdot x_i(t) \quad (2.4)$$

Dimana:  $S(x, t)$  = Sliding Surface ;

$x_i(t)$  = State variabel;

$c_i(t)$  = Sliding Coefficient



**Gambar 2. 7**Pergerakan trayektori variabel keadaan pada sliding surface

Umumnya pada kontrol tegangan menggunakan SMC, ada beberapa tahapan yang harus ditempuh diantaranya sebagai berikut:

a. Penentuan state variabel yang akan dikontrol

Hal pertama yang harus diperhatikan dalam metode SMC adalah penentuan variabel keadaan yang ingin dikontrol menggunakan SMC. Variabel error dan turunannya biasanya digunakan sebagai variabel keadaan dalam metode SMC karena metode SMC intinya akan menarik variabel keadaan tersebut menuju titik konvergensi/ titik nol seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Jadi jika variabel error dan turunannya akan menuju titik nol, maka sistem tersebut akan memenuhi setpoint yang dikehendaki. Pada teori variabel struktur sistem, persamaan dari konverter yang ingin dikontrol menggunakan SMC harus dirubah terlebih dahulu menjadi bentuk seperti pada persamaan 2.5[10].

$$\dot{x} = Ax + B\gamma + D \quad (2.5)$$

Dimana:  $x$  = variabel keadaan= error =  $V_o - V_{ref}$

$\gamma$  = *sinyal kontrol dari SMC*

$V_o$  = Tegangan keluaran;  $V_{ref}$  = tegangan referensi

Dari persamaan 2.5 tersebut diharapkan nantinya sinyal kontrol( $\gamma$ ) dari SMC dapat merubah variabel keadaan(e) sehingga nilainya dapat menuju titik origin.

b. Penentuan *sliding surface* dan teorema kontrol

Pada SMC untuk pengendalian tegangan, SMC menghasilkan sinyal *switching* ( $\gamma$ ) sebagai masukan untuk plant. Sinyal switching dari SMC tergantung dari trayektori variabel keadaan  $x$  berdasarkan pada fungsi dari sliding surface  $S$  pada persamaan 2.6 [7].

$$S = \alpha x_1 + x_2 \quad (2.6)$$

Dimana :  $S = \text{SlidingSurface}$

$$x_1; x_2 = e; \frac{de}{dt} = \text{variabelkeadaan}$$

$$\alpha = \text{slidingkoefisien}$$

Sinyal ( $\gamma$ ) merupakan sinyal switching yang dihasilkan oleh komponen relay agar trayektori dari variabel keadaan menuju sliding surface dengan nilai  $S=0$ . Jika nilai  $S > 0$  maka sinyal ( $\gamma$ ) = A dihasilkan oleh SMC, Jika nilai  $S < 0$  maka sinyal ( $\gamma$ ) = B dihasilkan oleh SMC.

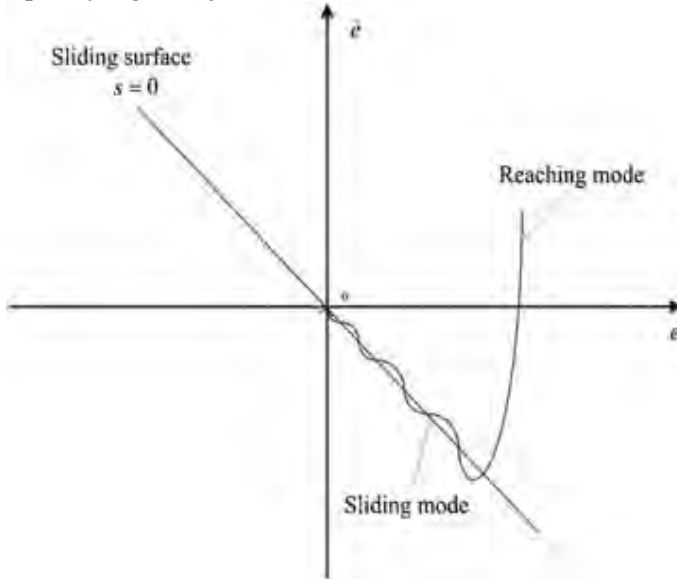
Pada inverter sendiri nilai A dan B dapat bernilai 0 atau 1 berdasarkan perilaku sistem yang ingin dikontrol, contohnya jika sistem dikenai sinyal ( $\gamma$ ) = 1 maka trayektori dari variabel keadaan akan menuju  $S < 0$  dan jika sistem dikenai sinyal ( $\gamma$ ) = 0 maka trayektori dari variabel keadaan akan menuju  $S > 0$ , maka teorema kontrol yang harus diterapkan adalah

$$(\gamma) \begin{cases} = 1 & \text{Jika } S > 0 \\ = 0 & \text{Jika } S < 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

Sehingga nantinya trayektori dari variabel keadaan sistem akan selalu menuju ke sliding surface /  $S=0$  dan kemudian akan menuju ke titik *origin*.

c. Sifat ketercapaian dan keadaan dari SMC

Idealnya jika kontrol SMC diterapkan, ada 2 macam sifat yang harus diperhatikan yaitu sifat ketercapaian dan sifat keadaan seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.8**.



**Gambar 2. 8** Sifat ketercapaian (Reaching mode) dan sifat keadaan (sliding mode) pada SMC

Sifat ketercapaian diperhatikan dengan tujuan untuk mengetahui apakah trayektori dari sistem menuju ke sliding surface atau tidak bagaimanapun kondisi awalnya. Sifat ketercapaian memenuhi fungsi lyapunov yaitu pada persamaan 2.8, 2.9, 2.10 [6].

$$V = \frac{1}{2} S^2 \quad (2.8)$$

Dimana harus memenuhi syarat

$$\dot{V} = S \cdot \dot{S} < 0 \text{ untuk } S \neq 0 \quad (2.9)$$

dan

$$\lim_{S \rightarrow 0} V = 0 \quad (2.10)$$

Setelah itu adalah melakukan pemeriksaan sifat keadaan dari SMC yaitu apakah trayektori variabel keadaan yang telah mencapai sliding surface dapat dipertahankan track nya di sliding surface atau tidak sesuai dengan syarat yang ada pada persamaan 2.11 dan 2.12 [7].

$$\lim_{s \rightarrow 0^+} \frac{dS}{dt} < 0 \quad (2.11)$$

dan

$$\lim_{s \rightarrow 0^-} \frac{dS}{dt} > 0 \quad (2.12)$$

Dimana:  $S = \text{Sliding Surface}$

d. Kondisi kestabilan

Pada sistem kontrol, kondisi kestabilan merupakan syarat mutlak bagi keberhasilan sistem kontrol tersebut. Pada SMC sendiri kestabilan sistem kontrol tersebut dapat ditinjau dari persamaan sliding surfacenya. Jika persamaan *sliding surfacenya* mengikuti persamaan 2.6 maka syarat kestabilan dari sistem kontrol tersebut adalah

$$S = 0 \quad (2.13)$$

dan

$$\alpha > 0 \quad (2.14)$$

Karena jika memenuhi persamaan tersebut maka persamaan 2.6 akan menjadi

$$\ddot{x}_2 = -\alpha \dot{x}_1$$

$$\dot{x} = -\alpha x$$

$$x(t) = x(0) \exp(-\alpha t) \quad (2.15)$$

Dimana persamaan 2.15 menunjukkan bahwa semakin lama variabel  $x$  akan mendekati nilai origin ( $x=0$ ) dengan *time constant* sebesar  $\tau = 1/\alpha$ . sehingga pemilihan sliding surface yang tepat akan mempengaruhi time constant dari sistem yang dikendalikan



## 2.4 Sinusoidal Pulse Width Modulation

*Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) merupakan salah satu teknik modulasi sinyal untuk menghasilkan sinyal digital yang bernilai 0/1. Prinsip kerja dari SPWM berasal dari perbandingan antara 2 sinyal yaitu sinyal segitiga dan sinyal sinusoidal. Komponen komparator pada inverter digunakan sebagai pembanding dan penghasil sinyal 1/0 dengan masukan sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa dan sinyal sinusoidal sebagai sinyal kontrol seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.9**[2].

Sinyal 1 dihasilkan ketika nilai sinyal kontrol lebih tinggi dari sinyal pembawa dan sinyal 0 dihasilkan ketika nilai sinyal kontrol lebih rendah daripada nilai sinyal pembawa. Ada 2 variabel yang ada pada SPWM yaitu *amplitude modulation ratio* (Persamaan 2.16) yang merupakan perbandingan antara amplitudo sinyal kontrol dan amplitudo sinyal pembawa dan *frekuensi modulation ratio* yang merupakan perbandingan antara frekuensi sinyal pembawa dengan frekuensi sinyal kontrol (Persamaan 2.17)[4].

$$M_A = \frac{V_c}{V_\Delta} \quad (2.16)$$

$$M_f = \frac{f_\Delta}{f_c} \quad (2.17)$$

Dimana :  $M_A$  = *AmplitudeModulationRatio*

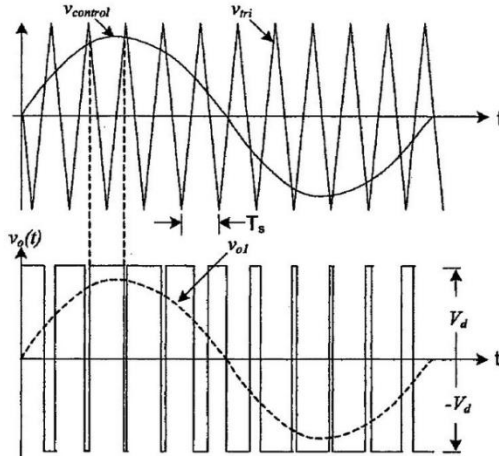
$M_f$  = *frekuensiModulationRatio*

$V_c$  = *Amplitudesinyalkontrol*

$V_\Delta$  = *Amplitudesinyalpembawa*

$f_c$  = *frekuensisinyalkontrol*

$f_\Delta$  = *frekuensisinyalpembawa*



**Gambar 2. 9** Sinyal masukan (atas) dan keluaran (bawah) pada SPWM

## 2.5 Filter Sinyal

Dalam teori rangkaian elektronika, filter sinyal merupakan suatu rangkaian yang dapat mengubah amplitudo ataupun fasa dari suatu sinyal masukan berdasarkan frekuensinya. Idealnya filter tidak mengubah atau menambah frekuensi suatu sinyal masukan. Pada umumnya, filter banyak digunakan untuk meloloskan sinyal dengan frekuensi tertentu dan menghilangkan sinyal dengan frekuensi diluar frekuensi tertentu tersebut [9]. Filter yang mempunyai komponen gain yang tergantung dengan frekuensi sinyal tersebut dikatakan sebagai filter aktif. Ada beberapa macam jenis filter sinyal aktif, 3 diantaranya adalah sebagai berikut :

- *Lowpass filter*

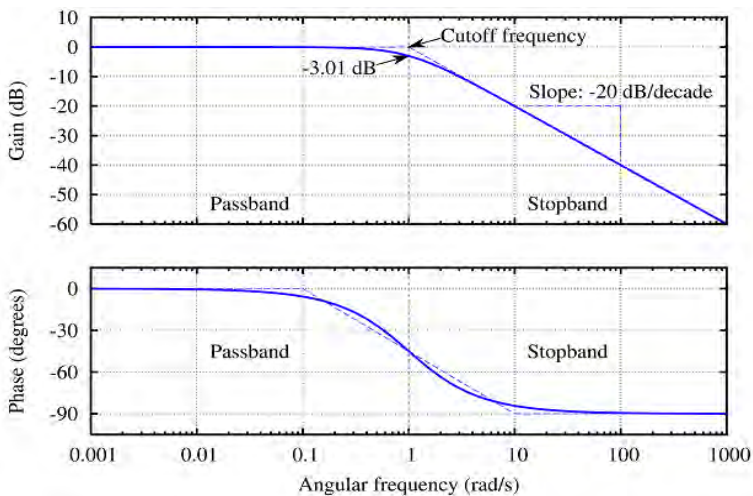
*Lowpass filter* merupakan filter yang meloloskan sinyal dengan frekuensi dibawah frekuensi *cutoff* dan menghilangkan sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi *cutoff*. Hal ini ditunjukkan oleh bode diagram pada **Gambar 2.10**, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa sinyal dengan frekuensi kurang dari frekuensi *cutoff* mempunyai amplitudo yang tetap dan sinyal

dengan frekuensi lebih dari frekuensi *cutoff* akan mengalami *atenuasi*. *Lowpass* filter mempunyai transfer fungsi pada persamaan 2.18

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = H_o \frac{o}{s + o} \quad (2.18)$$

Dimana :  $o$  = frekuensi *cut off*

$H_o$  = Gain filter



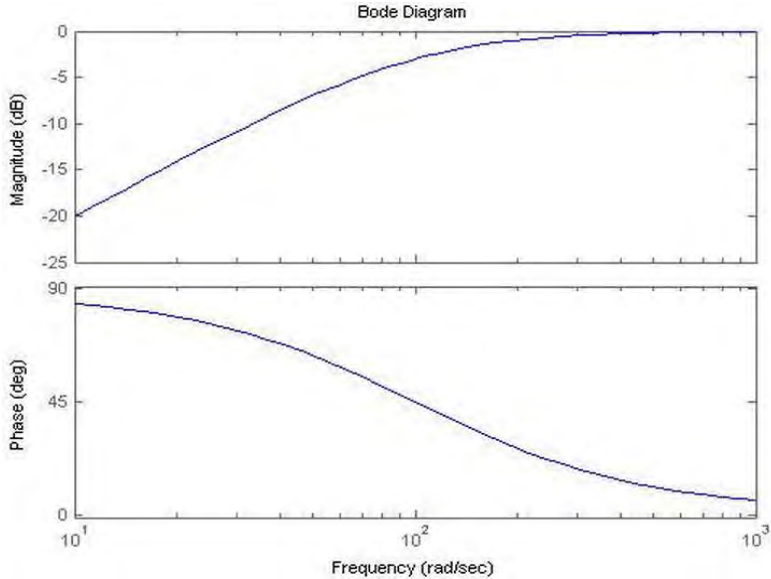
**Gambar 2. 10** Bode plot untuk *lowpass* filter

- *High pass* filter

*Lowpass* filter merupakan filter yang meloloskan sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi *cutoff* dan menghilangkan sinyal dengan frekuensi dibawah frekuensi *cutoff*. Hal ini ditunjukkan oleh bode diagram pada **Gambar 2.11**, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa sinyal dengan frekuensi lebih dari frekuensi *cutoff* mempunyai amplitudo yang tetap dan sinyal dengan frekuensi kurang dari frekuensi *cutoff* akan mengalami

*atenuasi. Highpass filter mempunyai transfer fungsi pada persamaan 2.19*

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = H_o \frac{s}{s + 0} \quad (2.19)$$

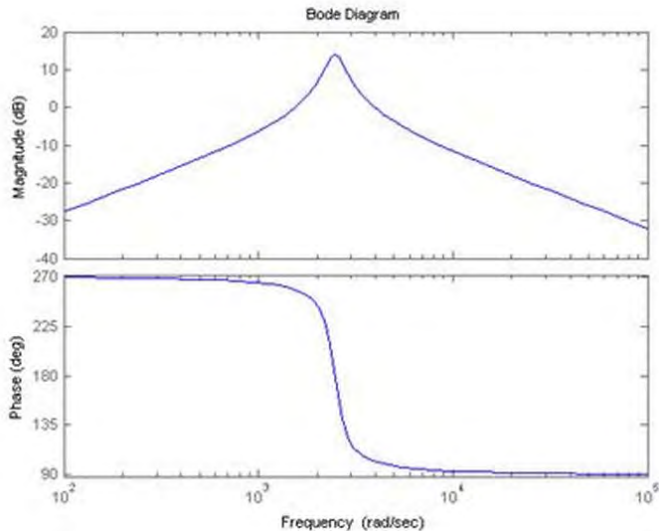


**Gambar 2. 11** Bode plot untuk *highpass* filter

- *Bandpass* filter

*Bandpass* filter merupakan filter yang meloloskan sinyal dengan frekuensi diantara frekuensi *cutoff*. Hal ini ditunjukkan oleh bode diagram pada **Gambar 2.12**, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa sinyal dengan frekuensi lebih dari frekuensi *cutoff* dan sinyal dengan frekuensi kurang dari frekuensi *cutoff* akan mengalami *atenuasi*. *Bandpass* filter mempunyai transfer fungsi pada persamaan 2.20

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = H = H_o \frac{\beta S}{S^2 + \beta S + \omega_o^2} \quad (2.20)$$



**Gambar 2. 12** Bode plot untuk *bandpass* filter

## 2.6 Sensitifitas Sistem dan Robustness

Pada suatu sistem kontrol, selain performansi sistem, sifat robustness sistem juga harus diperhitungkan. Robustness suatu sistem menunjukkan kemampuan sistem untuk tetap memberikan performansi yang diinginkan meskipun ada perubahan (ketidaktentuan) parameter plant yang signifikan. Ketidaktentuan (*uncertainty*) dalam sistem muncul karena :

- Perubahan parameter plant
- Dinamika plant yang tidak dimodelkan
- Time delay yang tidak dimodelkan
- Perubahan daerah operasi
- *Noise* dari sensor
- *Disturbance* yang tidak diprediksikan

Suatu sistem kontrol dikatakan robust jika : (1) mempunyai sensitivitas rendah, (2) stabil meskipun ada perubahan variasi parameter, (3) performansi sistem tetap memenuhi kriteria yang

ditetapkan meski ada perubahan parameter sistem. Robustness dari suatu sistem juga mulai diperhitungkan orang[12].

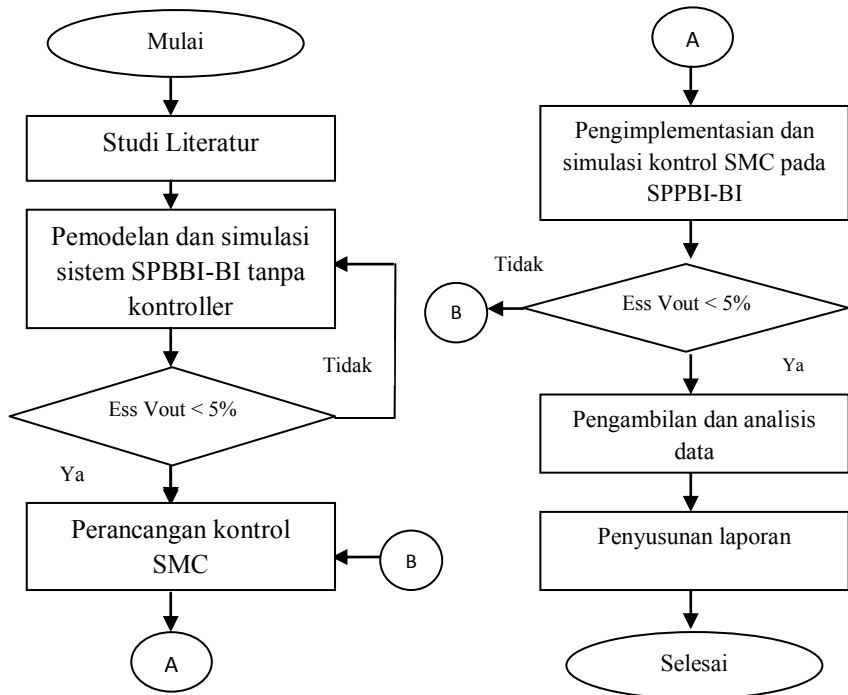
Sensitivitas sistem menunjukkan derajat perubahan respon sistem setiap ada perubahan parameter. Dalam perumusannya, sensitivitas sistem adalah rasio dari fraksi perubahan fungsi alih sistem dengan fraksi perubahan parameter sistem yang dapat dirumuskan seperti persamaan 2.21 dan 2.22

$$S_{f;p} = \lim_{\Delta p \rightarrow 0} \frac{\text{fraksi perubahan fungsi sistem , } f}{\text{fraksi perubahan parameter } p} \quad (2.21)$$

$$S_{f;p} = \lim_{\Delta p \rightarrow 0} \frac{\Delta f / f}{\Delta p / p} \quad (2.22)$$

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah penelitian sistem pengendalian tegangan keluaran pada IBBSF-IP menggunakan metode SMC. **Gambar 3.1** menerangkan tentang diagram alir penelitian



**Gambar 3. 1** Diagram alir tugas akhir

Rincian metodologi penelitian yang akan dilaksanakan pada tugas akhir ini adalah :

### 3.1 Studi literatur

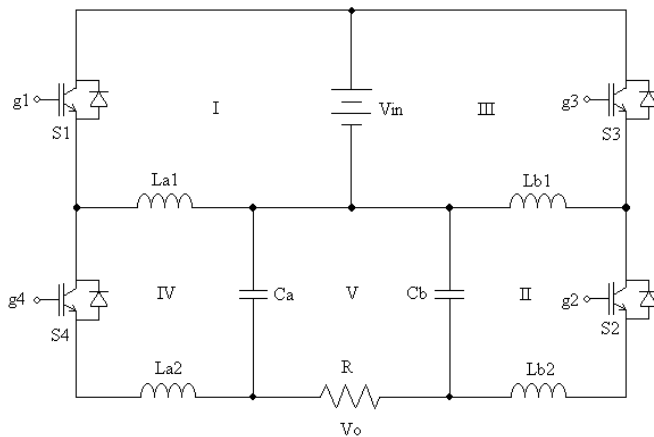
Pada penelitian ini, pertama dilakukan studi literatur mengenai Inverter Buck Boost satu fasa dengan induktor penyangga, Metode Sliding mode control, teknik modulasi SPWM, serta efek torsi motor terhadap beban Inverter. Hal ini dilakukan mengingat hal-hal tersebut merupakan objek paling penelitian ini.

### 3.2 Model plant sistem IBBSF-IP tanpa kontroller

Pada bagian ini, dibagi dalam 3 langkah utama :

- Pemodelan sistem IBBSF-IP tanpa kontroller menggunakan metode state space.

Model state space sistem IBBSF-IP diturunkan berdasarkan rangkaian pada **Gambar 3.2**[8]. Persamaan diferensial dari model didapat dari kondisi kerja yang ada pada plant, yaitu 2 kondisi kerja antara lain :



**Gambar 3. 2** Rangkaian plant IBBSF-IP



### Kondisi I

Kondisi ini terjadi ketika S1,S2 On dan S3, S4 Off. Maka didapatkan rangkaian equivalent dari gambar 3.2 seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 3.3 a.** dan dari rangkaian tersebut didapat beberapa persamaan yang mengikuti hukum Kirchof yaitu :

$$V_{in} = V_{la1} \quad (3.1)$$

$$V_{ca} + V_o = V_{cb} \quad (3.2)$$

$$V_{lb1} + V_{lb2} = V_{cb} \quad (3.3)$$

$$I_{cb} + I_{lb2} = I_o \quad (3.4)$$

Dari pers 3.2 dan 3.3

$$V_{ca} + V_o = V_{lb1} + V_{lb2}$$

$$V_{lb2} = V_{ca} + V_o - V_{lb1}$$

$$V_{lb2} = V_{cb} - V_{lb1}$$

$$L_2 \cdot \frac{dI_{lb}}{dt} = V_{cb} - L_1 \cdot \frac{dI_{lb}}{dt} \quad (3.5)$$

Dari pers 3.4

$$I_{cb} = I_o - I_{lb}$$

$$C_b \cdot \frac{dV_{Cb}}{dt} = \frac{V_o}{R} - I_{lb}$$

$$C_b \cdot \frac{dV_{Cb}}{dt} = \frac{V_{cb} - V_{ca}}{R} - I_{lb} \quad (3.6)$$

dan dari pers 3.5 dan 3.6 didapat model dalam bentuk state space untuk kondisi 1 yaitu:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{Lb}}{dt} \\ \frac{dV_{Cb}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L_1 + L_2} \\ -1 & \frac{1}{RC_b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{Lb} \\ V_{Cb} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{-1}{RC_b} \end{bmatrix} V_{ca} \quad (3.7)$$

## Kondisi II

Kondisi ini terjadi ketika S1,S2 On dan S3, S4 Off. Maka didapatkan rangkaian equivalent dari gambar 3.2 seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 3.3 b.** dan dari rangkaian tersebut didapat beberapa persamaan diferensial yang mengikuti hukum Kirchof yaitu

$$V_{in} = V_{lb1} \quad (3.8)$$

$$V_{cb} + V_o = V_{ca} \quad (3.9)$$

$$V_{la1} + V_{la2} = V_{ca} \quad (3.10)$$

$$I_{ca} + I_{la2} = I_o \quad (3.11)$$

Dari pers 3.9 dan 3.10

$$V_{cb} + V_o = V_{la1} + V_{la2}$$

$$V_{la2} = V_{cb} + V_o - V_{la1}$$

$$V_{la2} = V_{ca} - V_{la1}$$

$$L2. \frac{dI_{la}}{dt} = V_{ca} - L1. \frac{dI_{la}}{dt} \quad (3.12)$$

Dari pers 3.11

$$I_{ca} = I_o - I_{la2}$$

$$C_a. \frac{dV_{ca}}{dt} = \frac{V_o}{R} - I_{la2}$$

$$C_a. \frac{dV_{ca}}{dt} = \frac{V_{ca} - V_{cb}}{R} - I_{la2} \quad (3.13)$$

dan dari pers 3.12 dan 3.13 didapat model dalam bentuk state space untuk kondisi 2 yaitu:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{La}}{dt} \\ \frac{dV_{ca}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L_1 + L_2} \\ -1 & \frac{1}{RC_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ V_{ca} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{-1}{RC_a} \end{bmatrix} V_{cb} \quad (3.14)$$

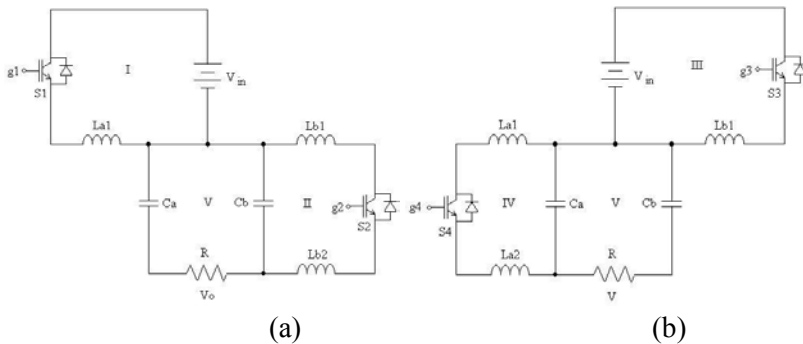
Dimana :

$V_{in}$  = teganganinput;  $V_l$  = teganganinduktor;

$V_c$  = tegangankapasitor;  $V_o$  = TeganganOutput

$I_l$  = arusinduktor;  $I_c$  = aruskapasitor;  $I_o$  = ArusOutput

$R$  = hambatan;  $L$  = induktansi;  $C$  = kapasitansi



**Gambar 3. 3** a) rangkaian equivalent kondisi 1 b)rangkaian equivalent kondisi 2

#### b. Perancangan sistem uji *open loop* IBBSF-IP

Berdasarkan model IBBSF-IP yang sudah dihasilkan sebelumnya, langkah selanjutnya adalah uji *open loop* dirancang sesuai dengan blok diagram yang ada pada **Gambar 3.4**.

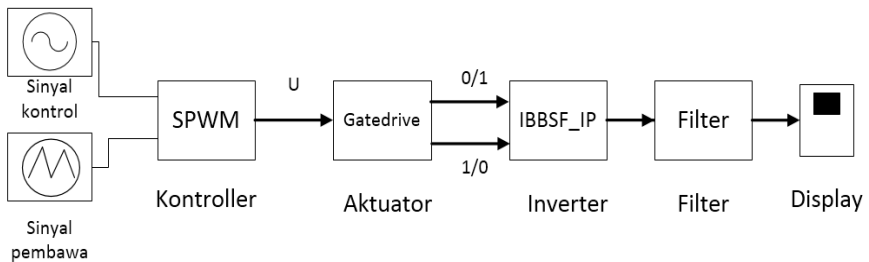
Ada 5 bagian penting dalam sistem uji *open loop* IBBSF-IP yaitu IBBSF-IP sebagai inverter atau plant yang ingin diperhatikan responnya, SPWM sebagai penghasil sinyal utama (U) pengujian *open loop*, aktuator(*gatedrive*) adalah penghasil sinyal 0/1 dan 1/0 sebagai 2 sinyal masukan utama untuk IBBSF-IP, filter sebagai penghilang *ripple* atau sinyal dengan frekuensi yang tidak diinginkan dan display sebagai alat untuk mengamati respon dari pengujian *open loop*.

Prinsip kerja dari uji *open loop* ini adalah sinyal U yang dihasilkan oleh SPWM merupakan hasil perbandingan antara sinyal kontrol yang berbentuk sinusoidal dan sinyal pembawa yang berbentuk segitiga dengan alat pembanding yaitu

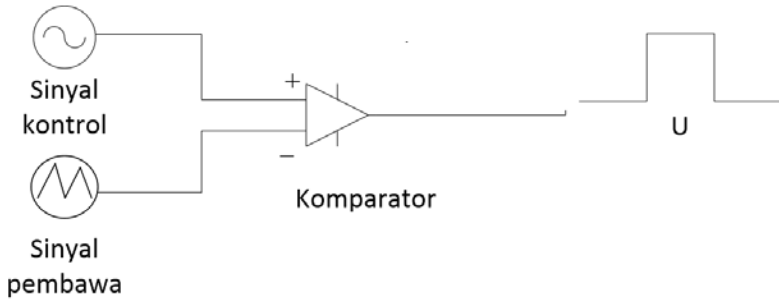
komparator untuk menghasilkan sinyal U yang bernilai 0/1 seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 3.5**.

Sinyal U SPWM kemudian masuk ke dalam gate drive. Gate drive merupakan rangkaian yang terdiri dari 1 masukan dan 2 keluaran, 1 keluaran untuk meneruskan sinyal U (*non-Inverting*) dan yang satu lagi untuk membalik (*non-Inverting*) sinyal U maka dari itu dibutuhkan rangkaian pembalik/*inverting* untuk membalik sinyal U sehingga salah satu keluarannya bernilai complement dari lainnya. Jadi, jika salah satu keluaran menghasilkan nilai 1, keluaran yang lain akan menghasilkan nilai 0 begitu pula sebaliknya seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 3.6**.

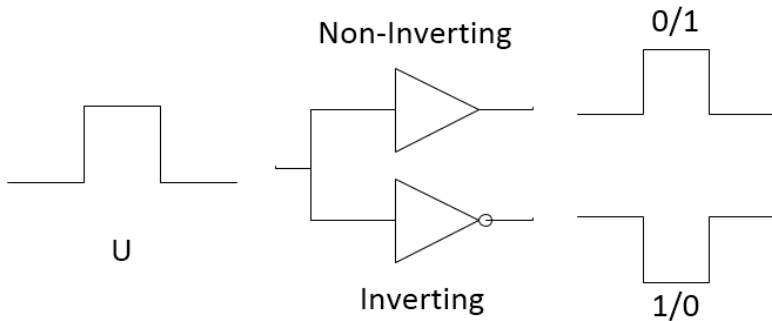
Filter digunakan untuk menghilangkan ripple dan frekuensi sinyal yang tidak diinginkan pada keluaran inverter. Pada uji *open loop* ini, digunakan jenis bandpass filter dengan frekuensi cutoff sesuai dengan frekuensi sinyal kontrol. Penggunaan bandpass filter dikarenakan dapat menghilangkan sinyal frekuensi rendah maupun tinggi sehingga frekuensi yang dihasilkan sesuai yang dikehendaki..



**Gambar 3. 4** Blok diagram uji *open loop* IBBSF-IP



**Gambar 3. 5** Elemen-elemen penyusun SPWM



**Gambar 3. 6** Elemen-elemen penyusun *gatedrive*

c. Analisis respon plant IBBSF-IP

Perancangan uji *open loop* IBBSF-IP diperoleh responnya dengan melakukan simulasi pada software Simulink MATLAB R2009a dan Power simulator V9.0.3 seperti yang ditunjukkan pada lampiran lampiran 11 dan responnya dianalisis berdasarkan bentuk gelombangya dan nilai maksimum amplitudonya.

### 3.3 Perancangan kontroler IBBSF-IP dengan metode SMC

Pada bagian ini, perancangan SMC untuk pengendali tegangan dibagi dalam 3 langkah utama yaitu:

1. Variabel keadaan yang ingin dikontrol ditentukan

Kontroller SMC dari IBBSF-IP dirancang dengan langkah awal yaitu variabel-variabel keadaan yang ingin dikontrol ditentukan. Sesuai dengan teori yang ada di subbab 2.3 untuk SMC pengendali tegangan variabel yang ingin dikontrol ada 2 yaitu error tegangan keluaran ( $e$ ) dan perubahan error tegangan ( $de/dt$ ). Berdasarkan dengan persamaan 2.5 maka didapatkan persamaan model IBBSF-IP pada persamaan 3.15 yaitu :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{CL} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{V_{ca} + V_{cb}}{CL} \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ V_{ref} + \frac{V_{ref}}{CL} - \frac{V_{cb}}{CL} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Dimana :  $x_1 = e = \text{error}$   
 $x_2 = \frac{de}{dt} = \text{laju error}$   
 $u = \text{sinyal kontrol dari SMC}$   
 $V_{ref} = \text{tegangan referensi}$

## 2. Sliding surface dan teorema kontrol SMC ditentukan

Sliding Surface pada phase plane variabel keadaan juga ditentukan agar kontroller dapat mencapai response yang dikehendaki. Formula dari sliding surface dapat diperoleh melalui pers 2.4. dikarenakan ada 2 variabel keadaan yang ingin dikontrol maka didapat sliding surface dengan persamaan 3.16

$$S = kx_1 + x_2 \quad (3.16)$$

Dimana :  $S = \text{Sliding Surface}$

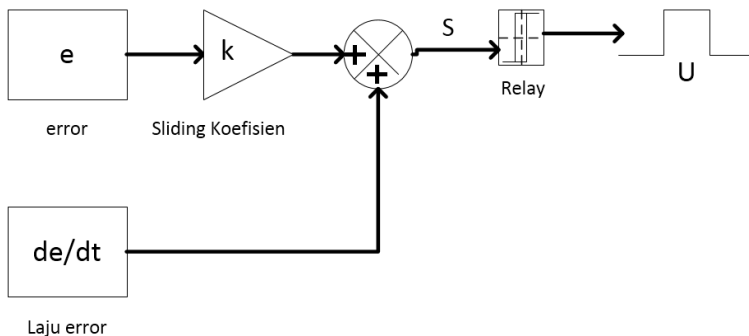
$k = \text{Sliding Koefisien}$

Pada persamaan 3.16, Nilai  $S$  harus sama dengan 0 untuk mencapai keadaan dinamis sistem yang konstan[7]. Komponen relay pada SMC digunakan agar trayektori sistem menuju sliding surface dan tetap berada pada sliding surface yang telah ditentukan. nilai  $k$  perlu ditentukan karena hal ini berkaitan dengan kecepatan respon dan *settling time* dari sistem untuk mencapai *sliding surface*.

Untuk teorema kontrol pada SMC, perlu dilihat terlebih dahulu pergerakan trayektori variabel keadaan pada *phase plane trajectory* jika IBBSF-IP dikenai sinyal masukan 1 maupun 0 sebagai representasi dari sinyal keluaran relay pada SMC. Hasilnya dilampirkan pada lampiran 4. Maka didapatkan teorema kontrol pada persamaan 3.17 yaitu :

$$(u) \begin{cases} =1 & \text{Jika } S > 0 \\ =0 & \text{Jika } S < 0 \end{cases} \quad (3.17)$$

Hal ini ditunjukkan oleh diagram Blok SMC seperti pada **Gambar 3.7** sedangkan penerapannya pada software simulink ditunjukkan oleh lampiran 11.



**Gambar 3. 7** Diagram blok SMC

### 3. Sifat ketercapaian dan sifat keadaan dari SMC dicapai

Kontroller yang sudah dirancang dinyatakan berhasil apabila sudah memenuhi 2 sifat utama dari metode SMC yaitu sifat ketercapaian dan sifat keadaan. Sifat ketercapaian dapat ditinjau dari persamaan 2.8 dengan syarat pada persamaan 2.9 dan 2.10. Untuk plotting dari persamaan 2.8 ada pada lampiran 7 dan dari grafik tersebut menunjukkan kurva dengan persamaan

$$V(t) = V(o). \exp(-xt) \quad (3.18)$$

dan

$$V(o) > 0 ; x > 0 \quad (3.19)$$

Turunan dari persamaan 3.18

$$\dot{V}(t) = -x \cdot V(o) \cdot \exp(-xt) \quad (3.20)$$

Jadi dapat dipastikan bahwa

$$\dot{V}(t) < 0 \quad (3.21)$$

Sedangkan untuk sifat keadaan dapat ditinjau sesuai dengan persamaan 2.11 dan Persamaan 2.12 dan jika persamaan tersebut diturunkan menjadi persamaan 3.16

$$\begin{aligned} S > 0 &\rightarrow \dot{S} < 0 \rightarrow k(\dot{V}_o - \dot{V}_{ref}) + (\ddot{V}_o - \ddot{V}_{ref}) < 0 \text{ atau} \\ S < 0 &\rightarrow \dot{S} > 0 \rightarrow k(\dot{V}_o - \dot{V}_{ref}) + (\ddot{V}_o - \ddot{V}_{ref}) > 0 \end{aligned} \quad (3.16)$$

### 3.4 Implementasi dan simulasi kontroler SMC pada IBBSF-IP

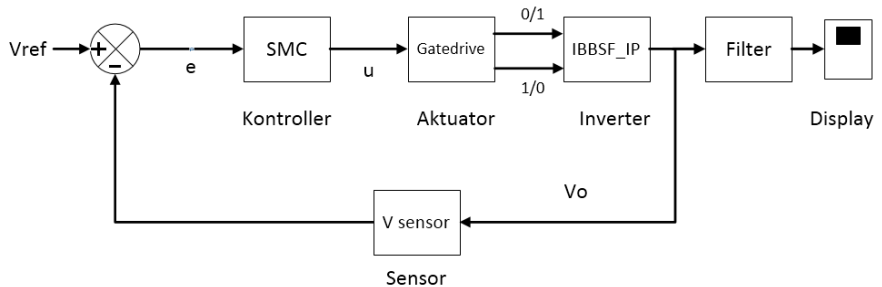
Kontroller yang sudah dirancang selanjutnya diimplementasikan terhadap model plant yang ada. Model keseluruhan dari sistem yang dirancang mulai masukan sampai dengan keluaran dapat digambarkan seperti pada **Gambar 3.8**, dengan komponen utama IBBSF-IP sebagai plant, Gatedrive sebagai aktuator, sensor tegangan dan SMC sebagai kontroller.

Perbedaan dari sistem IBBSF-IP dengan kontroller dan sistem tanpa kontroller pada subbab 3.2 adalah sistem yang dirancang saat ini bersifat closed loop sehingga diperlukan 2 elemen tambahan yaitu kontroller (SMC) dan Sensor tegangan. Sementara SPWM yang ada pada sistem *open loop* dihilangkan, karena sinyal keluaran dari SMC sudah berbentuk sinyal digital yang sesuai dengan keluaran PWM.

Kontroller berfungsi untuk mengatur sistem agar keluaran yang dihasilkan dapat mencapai setpoint yang diinginkan.



Sementara sensor berguna untuk membaca tegangan keluaran sistem untuk nantinya dibandingkan dengan setpoint ( $V_{ref}$ ) yang berupa sinyal sinusoidal dengan amplitudo dan frekuensi tertentu sehingga menghasilkan error dan laju error sebagai masukan ke controller (SMC)



**Gambar 3. 8** Diagram blok sistem pengendalian

Respon sistem didapat dari simulasi overall system yang dilakukan pada software Simulink pada Matlab. Hal ini ditunjukkan pada lampiran 12.

### 3.5 Analisis data dan penyusunan laporan

Data didapat dan kemudian dianalisis berdasarkan dari 3 jenis pengujian yaitu uji *Open Loop*, Uji *Closed Loop*, dan Uji Sensitifitas. Pada uji open loop data didapat dari respon yang dihasilkan dari simulasi pada software Simulink MATLAB R2009a dan PSIM 9.0.3, kemudian diamati bentuk gelombangnya serta amplitudo gelombangnya. Pada Uji Closed Loop data didapat dari hasil simulasi pada software MATLAB R2009a kemudian nilainya dicatat sesuai dengan parameter pada **Tabel 3.1**, nilai variasi parameter setpoint (SP) didapat dari nilai tegangan masukan beberapa macam jenis peralatan seperti yang ada pada keterangan **Tabel 3.1**[11]. Pada uji sensitifitas data didapat dari hasil simulasi pada software MATLAB R2009a kemudian nilainya dicatat sesuai dengan parameter pada **Tabel**

**3.2 dan Tabel 3.3.** Variasi parameter pada **Tabel 3.2** dan **Tabel 3.3** didapat dari macam-macam beban yang terjadi jika ada tegangan masukan tetap 220 V dengan daya yang berbeda-beda.

**Tabel 3. 1**Data uji closed loop sistem

SP	Vss	Ess	%ess	OS	Ket
36					V motor
120					V motor
240					V motor
311					V PLN
400					V max

**Tabel 3. 2** Data Uji Sensitifitas Sistem dengan Variasi Vin

Sp	Vin	Vss	Ess	%Ess
300	60			
300	50			
300	40			

**Tabel 3. 3** Data Uji Sensitifitas Sistem dengan Variasi R

Beban	R	Vss	Ess	%Ess	Sens
Ref.	50				
R.1300	37,23				
R.900	53,78				
R.450	107,56				
M.30	1613,33				
M.25	1936,00				

Keterangan : R= Rumah;M=Motor

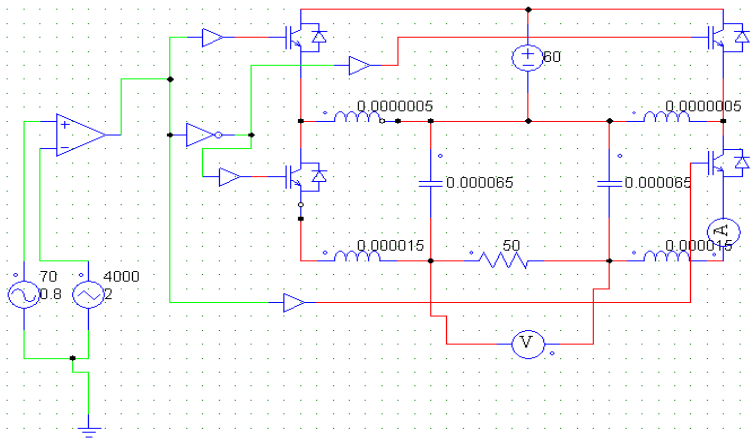
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis respon sistem IBBSF-IP menggunakan SMC berdasarkan pengujian *open loop*, Pengujian *closed loop* dan pengujian sensitifitas sistem

#### 4.1 Respon *open loop* IBBSF-IP

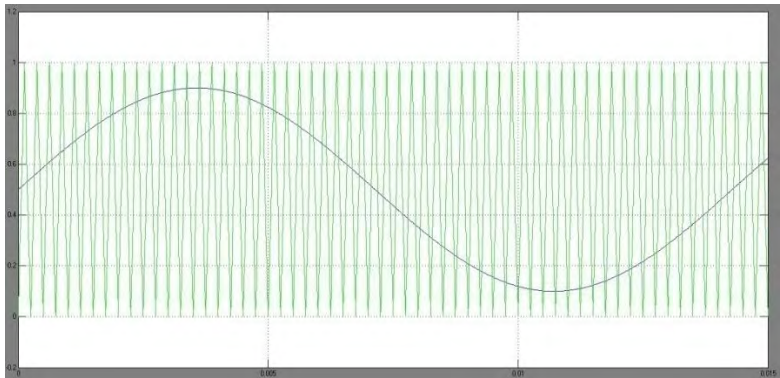
Pengujian respon *open loop* dari IBBSF-IP dilakukan pada rangkaian yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.1**, gate inverter diberi sinyal masukan berupa sinyal kotak yang bernilai 0/1 dari *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.2**, dengan nilai komponen penyusun sistem uji open loop ditunjukkan oleh **Tabel 4.1**. Nilai-nilai tersebut didapat dari penelitian sebelumnya mengenai IBBSF-IP[8], sedangkan untuk jenis filter yang digunakan dipilih berdasarkan respon tercepat dan *error steady state* dari perbandingan 2 jenis filter yaitu *lowpass* dan *bandpass* pada lampiran 13.



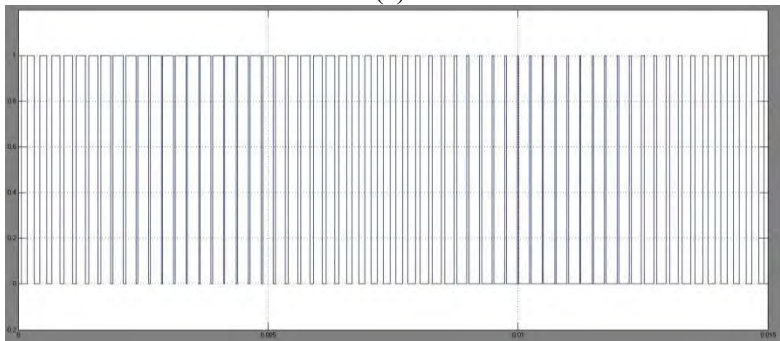
**Gambar 4. 1**Rangkaian uji *open loop* IBBSF-IP

**Tabel 4. 1** Nilai Komponen penyusun Uji *Open Loop* IBBSF-IP

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Vin	60 Volt	La1,Lb1	0,5 $\mu$ H
R	50 Ohm	La2,Lb2	15 $\mu$ H
f Control	70 Hz	Ca,Cb	65 $\mu$ F
f Carrier	4000Hz	A.M.R	0.8
f cutoff	70 Hz	Jenis filter	Lowpass



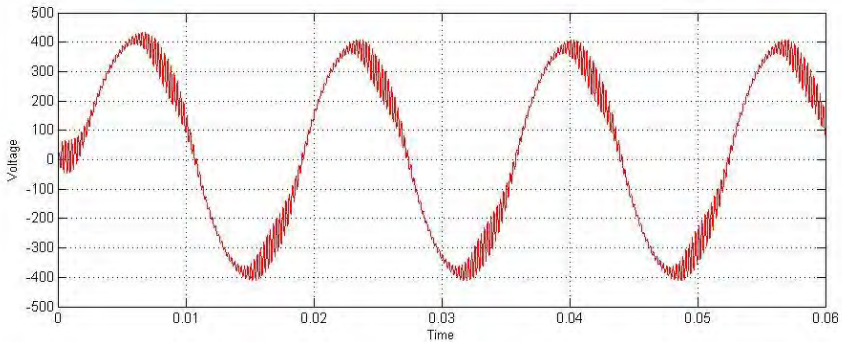
(a)



(b)

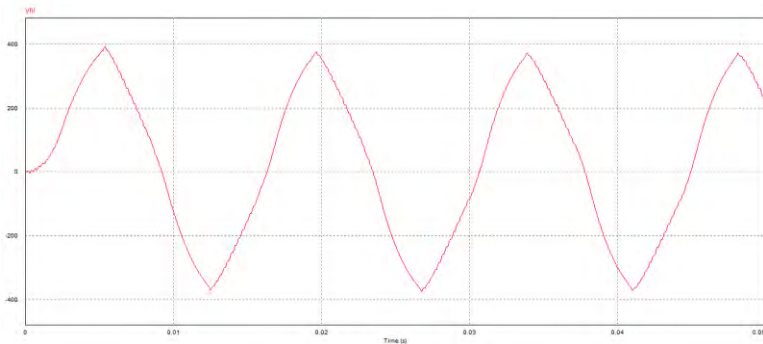
**Gambar 4. 2** (a) Sinyal Pembawa/Hijau & Sinyal Control/Biru SPWM  
(b) Sinyal Keluaran SPWM

Pengujian respon *Open Loop* dilakukan pada 2 software yaitu Matlab Simulink R 2009 A dan Power Simulator. Respon yang didapat ditunjukkan oleh **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4**



**Gambar 4. 3** Respon Tegangan *Open Loop* IBBSF-IP menggunakan MATLAB R2009A ; Modulation Ratio = 0.8

Pada pengujian Respon *Open Loop* IBBSF-IP menggunakan MATLAB, didapatkan bahwa nilai Amplitude tegangan keluaran sebesar 380 Volt dengan nilai overshoot gelombang awal mencapai 420 Volt, dari gambar tersebut juga dapat diketahui adanya Ripple yang terjadi saat Puncak dan lembah.



**Gambar 4. 4** Respon tegangan *open loop* IBBSF-IP menggunakan P-SIM; Modulation Ratio = 0.8

Sedangkan untuk pengujian Respon *Open Loop* IBBSF-IP menggunakan P-SIM, didapatkan bahwa nilai Amplitude tegangan keluaran sebesar 370 Volt, dengan nilai overshoot gelombang awal mencapai 390 Volt. dari gambar tersebut juga dapat diketahui tidak ada *ripple* yang terjadi saat Puncak dan lembah, namun sinyal yang dihasilkan tidak persis berbentuk sinusoidal namun cenderung berbentuk segitiga.

Perbedaan yang terjadi antara kedua simulai tersebut dapat disebabkan oleh 2 alasan. Pertama adalah adanya kemungkinan pemodelan matematis pada software Simulink Matlab R2009A masih belum merepresentasikan dengan benar IBBSF-IP atau yang kedua adalah filter yang diterapkan pada Simulink Matlab R2009A dengan PSIM versi.9.0.3 mempunyai karakteristik yang berbeda dalam memfilter sinyal meskipun sama-sama berjenis lowpass filter.

#### 4.2 Respon *Closed Loop* pada IBBSF-IP menggunakan SMC

Pengujian *Closed loop* dilakukan untuk menguji kontroller Sliding Mode yang sudah dirancang. nilai komponen penyusun sistem uji *open loop* ditunjukkan oleh **Tabel 4.2** [8].

**Tabel 4. 2** Nilai parameter penyusun uji closed loop IBBSF-IP

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Vin	60 Volt	La1,Lb1	0,5 $\mu$ H
R	50 Ohm	La2,Lb2	15 $\mu$ H
K	15384.615	Ca,Cb	65 $\mu$ F
f cutoff	70 Hz	Jenis filter	Lowpass

Pengujian dilakukan dengan software matlab simulink R2009A, dengan memvariasikan nilai amplitude set point (SP) yaitu 36V,120V,240V,311V,400V. Respon *closed loop* IBBSF-IP

dengan menggunakan SMC hasilnya ditunjukkan oleh **Gambar 4.5**

Dari grafik respon tersebut, diperoleh data parameter performansi dari sistem IBBSF-IP dengan menggunakan SMC seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.3**.

**Tabel 4. 3** Data Hasil Uji Respon Closed Loop IBBSF-IP

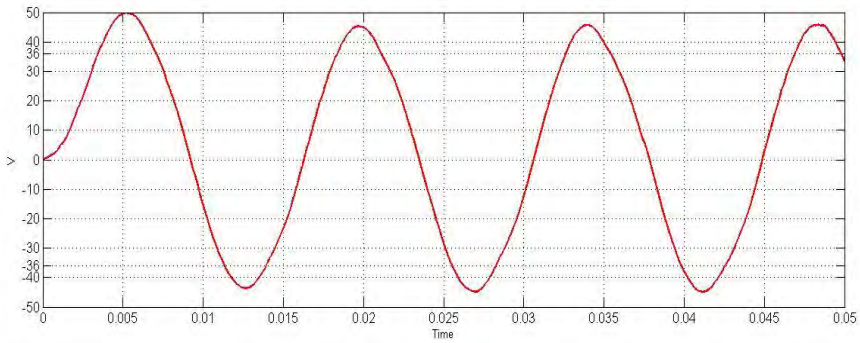
SP	Vss	Ess	%Ess	OS	Ket
36	44,5	8,5	23,61	47,5	V motor
120	124	4	3,33	135,8	V motor
240	256,1	16,1	6,70	277,4	V motor
311	314,2	3,2	1,02	341,1	V PLN
400	390	-10	-2,5	418	V max

Hasil yang didapatkan adalah Penggunaan Metode SMC pada IBBSF-IP dapat mengontrol tegangan keluaran sesuai dengan setpoint yang dikehendaki, meskipun ada ketidak sempurnaan berupa adanya nilai *error steady state* (*Ess*) dan adanya *overshoot* (OS) yang terjadi.

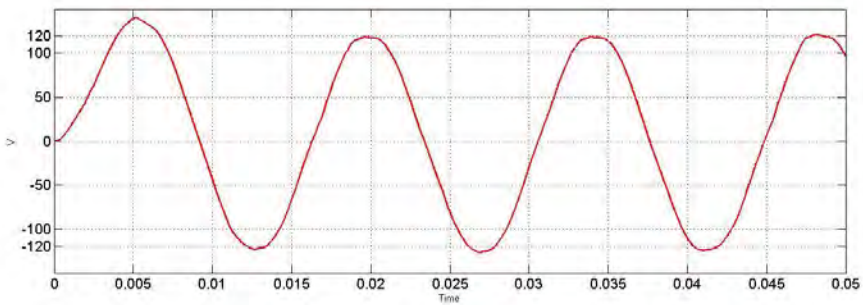
Ess terkecil ada pada setpoint 311 Volt dengan besar 1.02% dan *Ess* terbesar ada pada setpoint 36 volt yaitu sebesar 23.61%. Nilai overshoot terkecil terjadi setpoint 36 volt sebesar 47.5 volt dan nilai overshoot terbesar ada pada Setpoint 240 volt dengan nilai 277.4 volt.

Overshoot terjadi lebih disebabkan karena penggunaan lowpass filter memungkinkan adanya frekuensi sinyal dengan frekuensi lebih rendah daripada frekuensi cutoff masih lolos di filter tersebut. Error steady state terjadi karena dimungkinkan adanya penurunan nilai magnitude sinyal pada frekuensi cutoff dan karena filter yang digunakan hanyalah filter lowpass pasif sehingga tidak bisa mengatur nilai gain dari tegangan keluaran untuk memenuhi setpoint. Kelebihan utama dari penggunaan

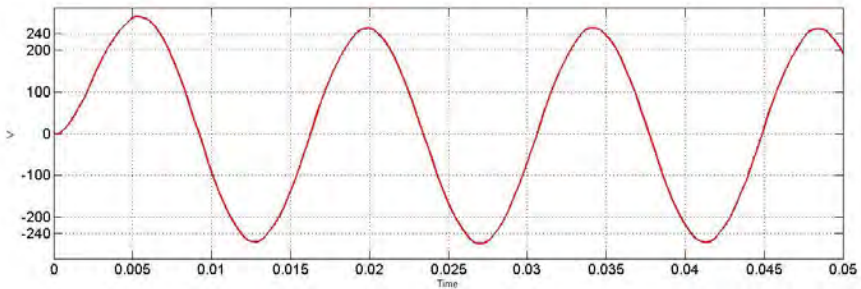
metode SMC pada pengujian ini adalah dapat menghilangkan ripple yang terjadi pada saat uji *open loop*.



(a)

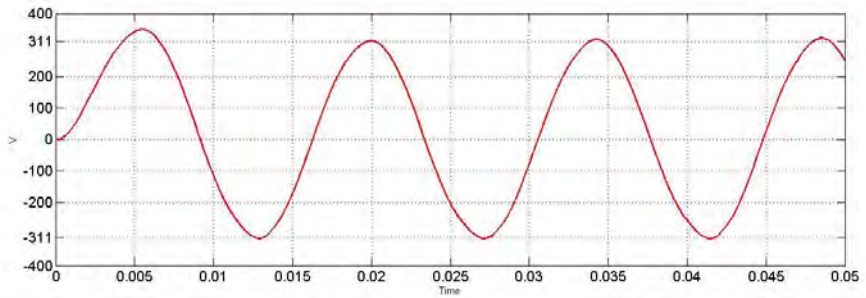


(b)

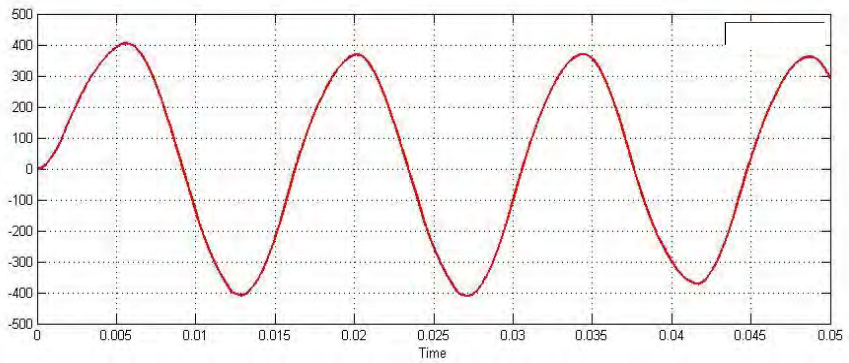


(c)





(d)



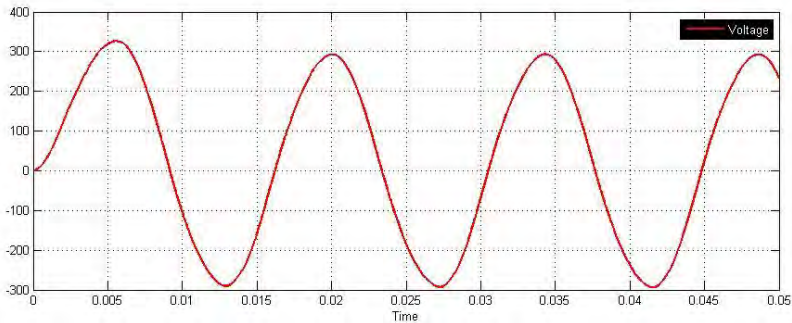
(e)

**Gambar 4. 5** Respon tegangan IBBSF-IP closed loop (a) SP=36V; (b) SP=120V; (c) SP=240V; (d) SP=311V; (e) SP=400V

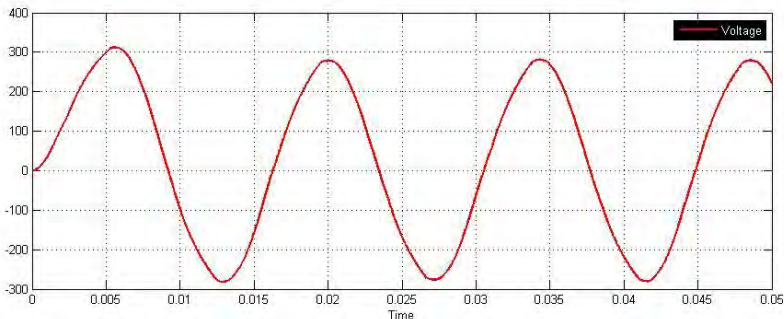
### 4.3 Respon sensitivitas sistem pengendalian IBBSF-IP dengan perubahan beban dan tegangan input

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sensitivitas dari Sistem pengendalian IBBSF-IP dengan menggunakan SMC. Parameter yang diubah-ubah adalah nilai tegangan input dan Nilai Beban, dengan setpoint 300 Volt.

Tegangan masukan dirubah dari tegangan awal 60 volt ke 50 volt dan terakhir 40 volt. Respon Tegangan untuk perubahan nilai masukan ditunjukkan oleh **Gambar 4.6**,



(a)



(b)

**Gambar 4. 6** Respon Closed Loop IBBSF-IP Setpoint=300 Volt dengan Variasi Tegangan Masukan (a)  $V_{in}=50$  V; (b)  $V_{in}=40$  V

Dari grafik tersebut didapatkan data tegangan output yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.4**

**Tabel 4. 4** Data tegangan keluaran dengan variasi Tegangan input

Sp	Vin	Vss	Ess	%Ess	Sens
300	60	310	10	3,33%	-
300	50	294	-6	-2%	0.31
300	40	280	-20	-6,67%	0.29

Hasil yang didapatkan adalah dengan semakin berkurangnya tegangan masukan, maka tegangan keluaran nilainya akan berkurang. Persentase error steady state semakin rendah dikarenakan semakin kecil tegangan masukan maka nilai error steady state definit negatif. Nilai sensitivitas dari sistem cenderung semakin kecil seiring berkurangnya tegangan masukan yang diberikan hal ini dapat terlihat dari nilai sensitivitas sistem sebesar 0.31 saat ada perubahan 16% tegangan masukan dan sebesar 0.29 ketika ada perubahan 32% tegangan masukan.

Uji sensitivitas yang kedua adalah melakukan perubahan nilai resistansi berdasarkan jenis beban yang akan digunakan. ada 5 macam jenis beban yaitu beban listrik rumahan dengan daya 450 Watt, 900 Watt, 1300 Watt dan Beban Motor 25 Watt dan 30 Watt

Data tegangan keluaran ditunjukkan oleh **Tabel 4.5**. Hasil yang didapatkan adalah jika nilai hambatan berubah maka nilai tegangan keluaran dari inverter juga akan ikut berubah. Nilai sensitivitas cenderung semakin kecil jika nilai perubahan hambatan nilainya semakin besar dengan referensi hambatan awal 50 Ohm. Nilai sensitivitas terkecil sebesar 0.0002 jika terjadi perubahan nilai resistansi sebesar 3700%.

**Tabel 4. 5** Data tegangan keluaran dengan variasi Resistansi; SP=300

Beban	R	Vss	Ess	%Ess	Sens
Ref.	50	310	10	3,33	-
R.1300	37,23	308,00	8,00	2,66	0,0253
R.900	53,78	312,20	12,20	4,06	0,0939
R.450	107,56	316,80	16,80	5,60	0,0191
M.30	1613,33	315,00	15,00	5,00	0,0005
M.25	1936,00	312,00	12,00	4,00	0,0002

Keterangan : R= Rumah;M=Motor

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Telah dilakukan pengujian sistem pengendalian tegangan keluaran IBBSF-IP berbasis SMC menggunakan software Simulink MATLAB R2009A dan P-SIM Versi 9.0.3 dengan hasil sebagai berikut:

- Pada uji *open loop* dengan tegangan sumber 60 Volt, IBBSF-IP menunjukkan grafik tegangan keluaran berbentuk gelombang sinusoidal dengan amplitudo maksimum mendekati 400 Volt,
- Pada uji closed loop IBBSF-IP dapat dikontrol dengan baik dalam mengikuti setpoint yang diberikan dengan metode kontrol SMC orde 2 dengan nilai %Ess terkecil pada 311 Volt yaitu 1.02%.
- Pada uji sensitivitas sistem dengan memvariasikan nilai tegangan masukan dan nilai resistansi didapat bahwa semakin besar perubahan kedua parameter tersebut dari nilai referensi maka nilai sensitivitas akan semakin kecil, dengan nilai sensitivitas terkecil 0.29 jika terjadi perubahan tegangan masukan 32% dan 0.0002 jika terjadi perubahan resistansi sebesar 3700%

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah alangkah baiknya jika Sistem pengendalian IBBSF-IP dengan metode SMC ini dapat diterapkan ke dalam bentuk hardware

*(Halaman ini memang dikosongkan)*

## **Lampiran 1**

### **Modelling error Variabel**

$$x1 = e = V_{ref} - V_o$$

$$\begin{aligned} x2 = \dot{e} &= \dot{V}_{ref} - \dot{V}_o \\ &= \dot{V}_{ref} - (\dot{V}_{cb} - \dot{V}_{ca}) \\ &= \dot{V}_{ref} - \frac{1}{C}(I_{cb} - I_{ca}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}2 = \ddot{e} &= \ddot{V}_{ref} - \frac{1}{C}(\dot{I}_{cb} - \dot{I}_{ca}) \\ &= \ddot{V}_{ref} - \frac{1}{C}[-I\dot{l}b(u) - I\dot{l}a(1-u)] \\ &= \ddot{V}_{ref} - \frac{1}{C}\left[-\frac{Vlb}{L}(u) - \frac{Vla}{L}(1-u)\right] \\ &= \ddot{V}_{ref} - \frac{1}{CL}[-Vlb(u) - Vla(1-u)] \\ &= \ddot{V}_{ref} - \frac{1}{CL}[-Vcb(u) - Vca(1-u)] \\ &= \ddot{V}_{ref} - \frac{1}{CL}[-(Vo + Vca)(u) - (Vcb - Vo)(1-u)] \\ &= \ddot{V}_{ref} + \frac{1}{CL}Vo - \frac{1}{CL}[(-Vca)(u) - (-Vcb)(1-u)] \\ &= \ddot{V}_{ref} + \frac{1}{CL}(V_{ref} - e) + \frac{1}{CL}[(Vca)(u) - (Vcb)(1-u)] \end{aligned}$$

So

$$\begin{bmatrix} \dot{x}1 \\ \dot{x}2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{CL} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{Vca + Vcb}{CL} \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} \ddot{V}_{ref} + \frac{V_{ref}}{CL} - \frac{Vcb}{CL} \end{bmatrix}$$

## **Lampiran 2**

### **Sliding Mode Control**

#### **-Control theorem**

$$U=1 \rightarrow S>0$$

$$U=0 \rightarrow S<0$$

#### **-Sliding Surface**

$$S = kx_1 + x_2$$

$$\dot{S} = k\dot{x}_1 + \dot{x}_2$$

$$\dot{S} = k\dot{x}_1 + \frac{1}{CL}x_1 + \frac{V_{ca} + V_{cb}}{CL}u + V\ddot{r}_{ref} + \frac{V_{ref}}{CL} - \frac{V_{cb}}{CL}$$

$$\dot{S} = CLk\dot{x}_1 + x_1 + (V_{ca} + V_{cb})u + V\ddot{r}_{ref}CL + V_{ref} - V_{cb}$$

#### **-existence n reachability condition**

Lyapunov Stability

$$V = \frac{1}{2} S^2$$

$$\dot{V} < 0 \rightarrow S \cdot \dot{S} < 0$$

So

$$\text{If } S > 0 \rightarrow \dot{S} < 0$$

$$CLk\dot{x}_1 + x_1 + (V_{ca} + V_{cb})u + V\ddot{r}_{ref}CL + V_{ref} - V_{cb} < 0$$

$$\text{If } S < 0 \rightarrow \dot{S} > 0$$

$$CLk\dot{x}_1 + x_1 + V\ddot{r}_{ref}CL + V_{ref} - V_{cb} > 0$$



### **Lampiran 3**

#### **Filter**

##### a. Lowpass filter

Lowpass filter mempunyai transfer fungsi sebagai berikut :

$$H = \frac{A}{\tau S + 1}$$

Dimana : A=penguatan ;  $\tau = \frac{1}{\omega_o} = \text{time constant}$  ;  
 $\omega_o = \text{frekuensi Cut off (rad/sec)}$ ;

Karena dibutuhkan frekuensi keluaran sebesar 70 Hz maka didapat transfer fungsi filter sebagai berikut:

$$H = \frac{2}{0.002748S + 1}$$

##### b. Bandpass Filter

Bandpass filter mempunyai transfer fungsi sebagai berikut :

$$H = \frac{A * BS}{S^2 + BS + \omega_o^2}$$

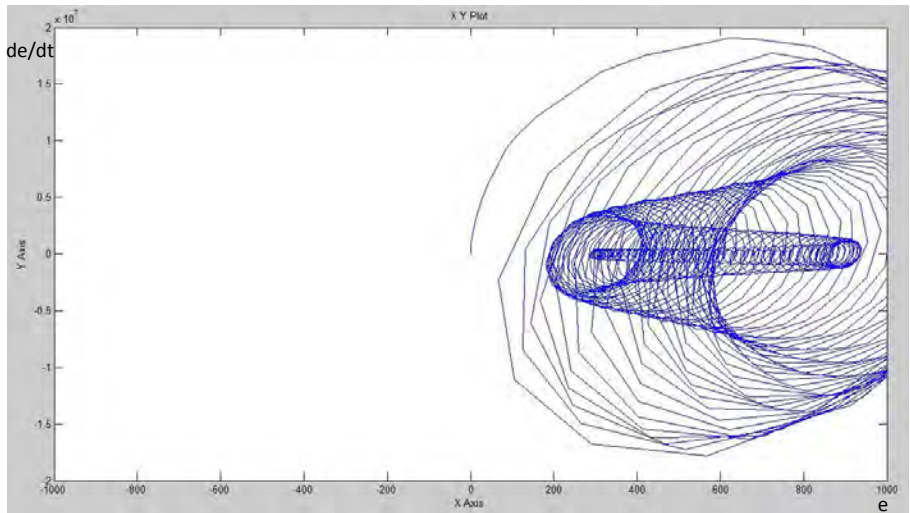
Dimana : A=penguatan ;  
 $B = 2\varepsilon\omega_o = \text{Bandwidth}$  ;  
 $\omega_o = \text{frekuensi Cut off (rad/sec)}$   
 $\varepsilon = \text{damping coefficient}$

Karena dibutuhkan frekuensi keluaran sebesar 70 Hz maka didapat transfer fungsi filter sebagai berikut:

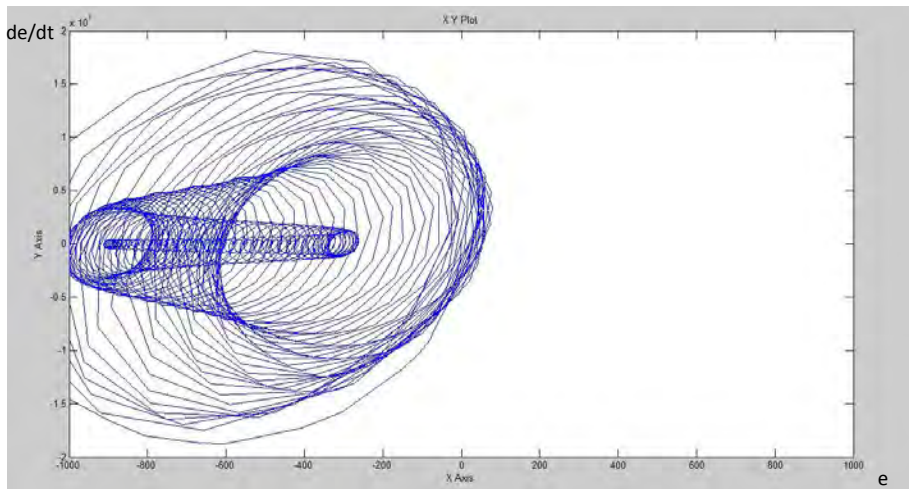
$$H = \frac{1.224 * 879.7S}{S^2 + 879.7S + 1193248.16}$$

## Lampiran 4

### Trayektori Sistem



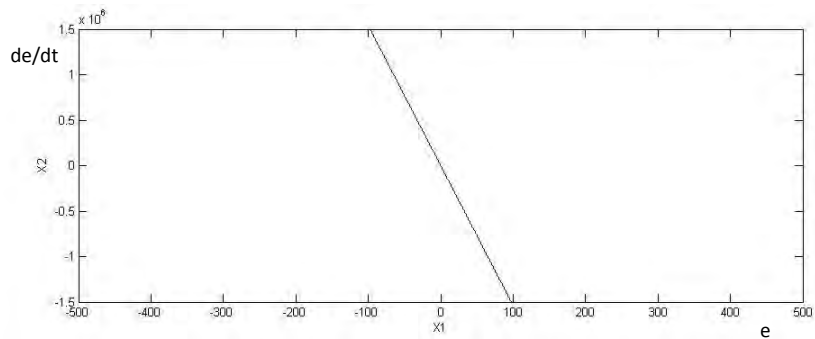
(a) Sistem trayektori ;  $U=0$



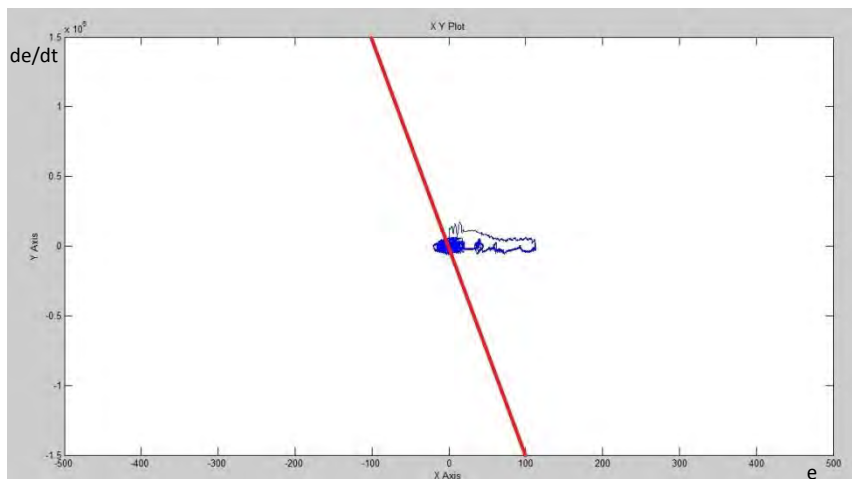
(b) Sistem trayektori ;  $U=1$

## Lampiran 5

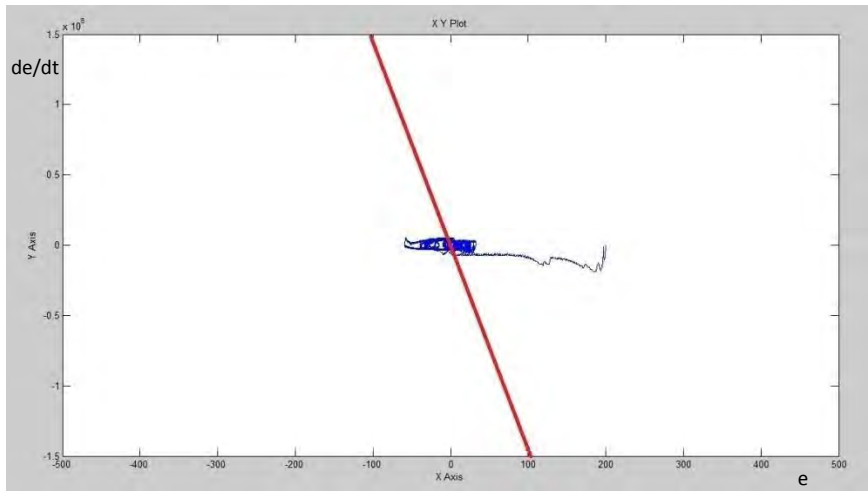
### Trayektori Sistem dengan penerapan SMC



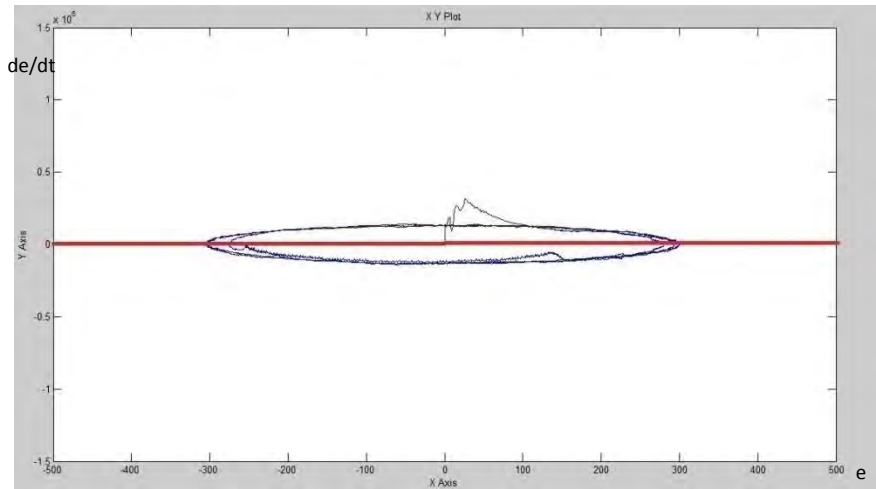
(a) Sliding Surface untuk  $k = 15384.615$



(b) System Trayektori untuk Gelombang Sin



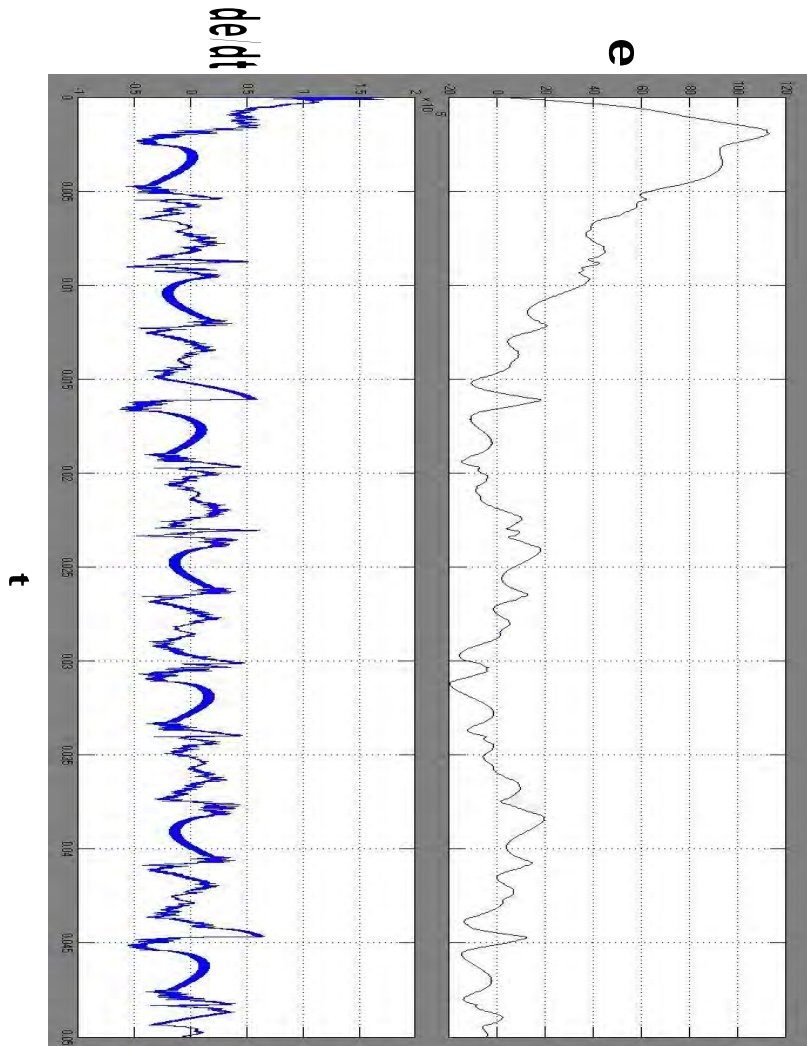
(c) System Trajectory untuk Gelombang Cos



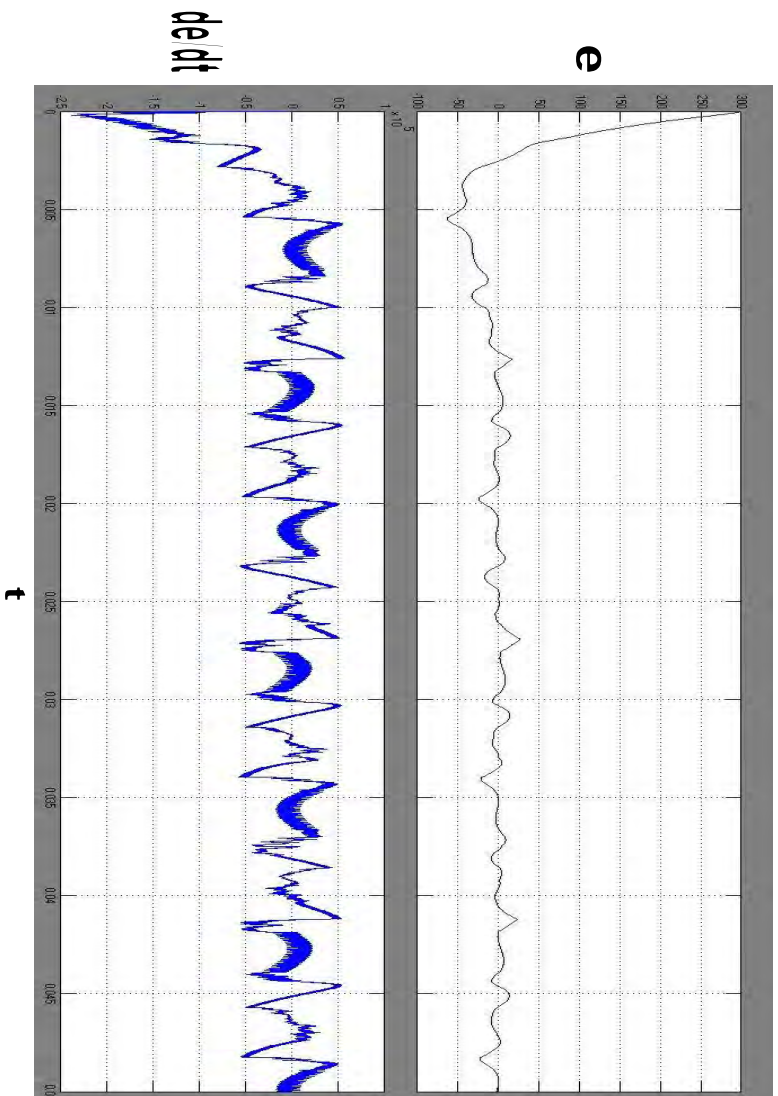
(d) System Trajectory untuk  $k=0$

## Lampiran 6

Grafik error (e) dan laju error (de/dt)



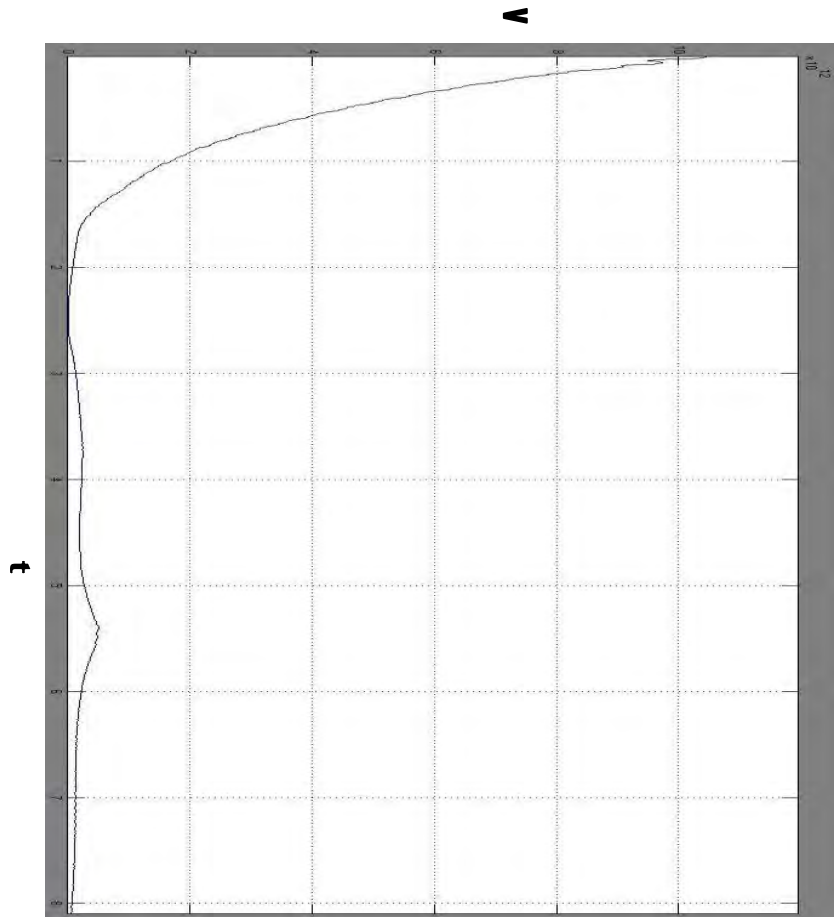
(a) Grafik Error Sin



(b) Grafik Error Cos

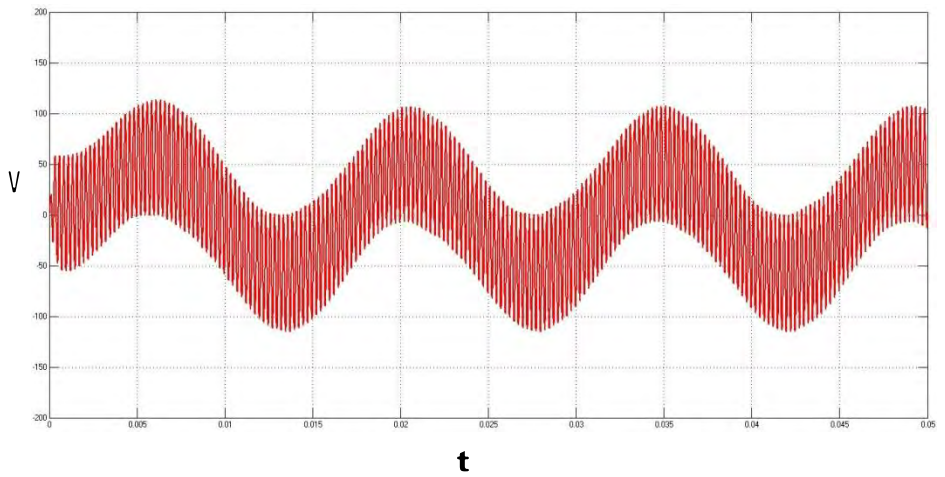
## Lampiran 7

Grafik Lyapunov Function (V) terhadap waktu (t)



## Lampiran 8

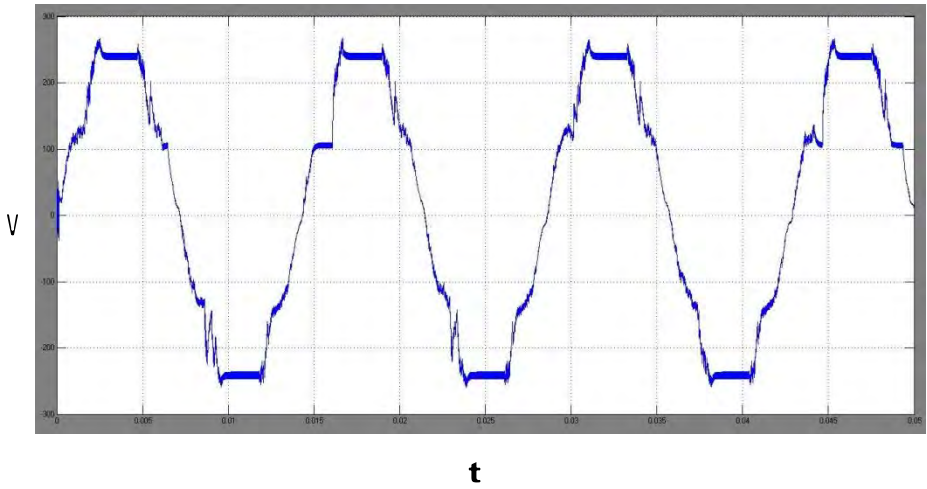
Respon tegangan open loop sistem ; amplitude modulation ratio =0.2





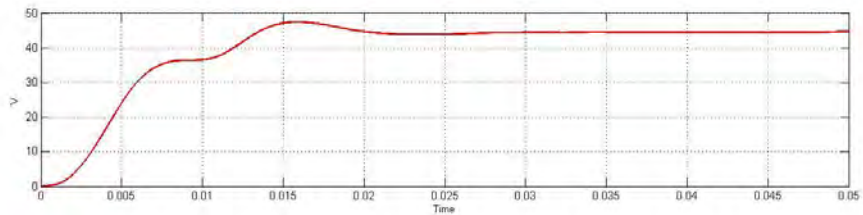
## Lampiran 9

### Respon tegangan IBBSF-IP Closed Loop tanpa filter

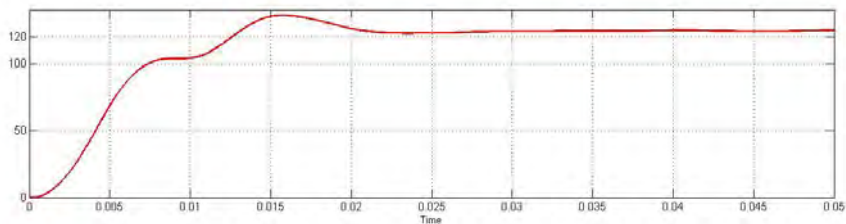


**Lampiran 10**

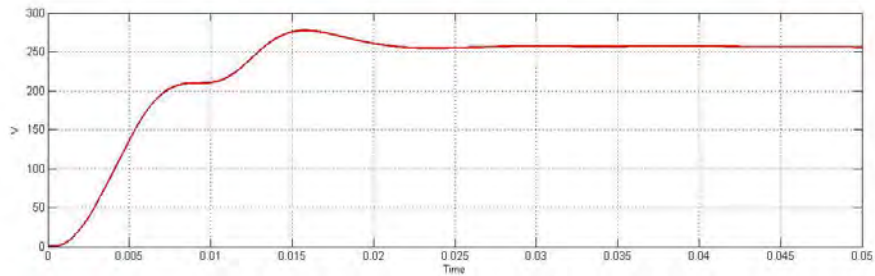
**Grafik Linear V-t Gambar 4.5**



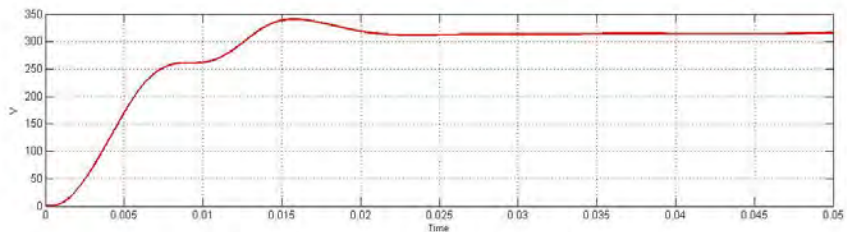
**(a) Setpoint = 36 Volt**



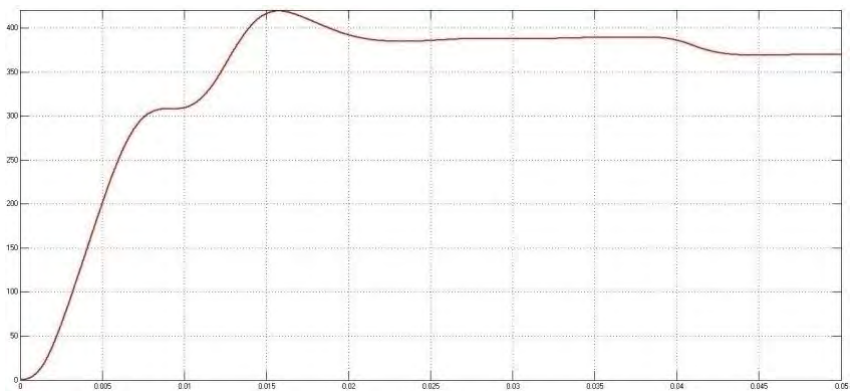
**(b) Setpoint = 120 Volt**



**(c) Setpoint = 240 Volt**

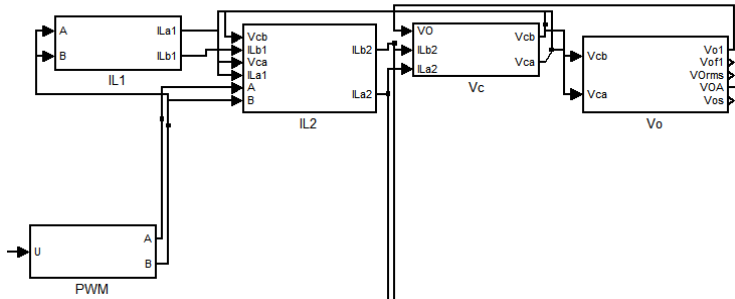


**(d) Setpoint = 311 Volt**

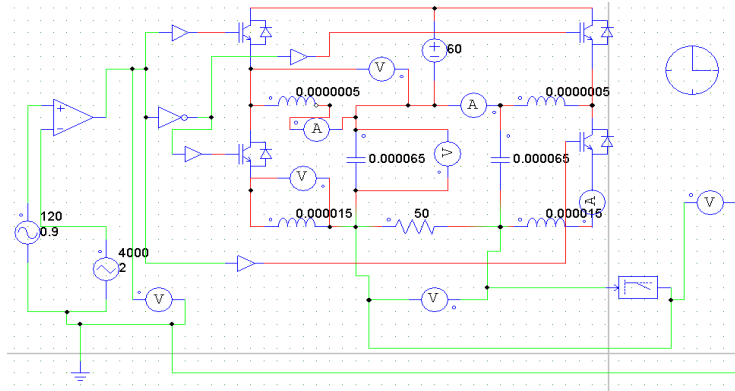


**(e) Setpoint = 400 Volt**

## Program Uji Open Loop Simulink Matlab dan Power Simulator



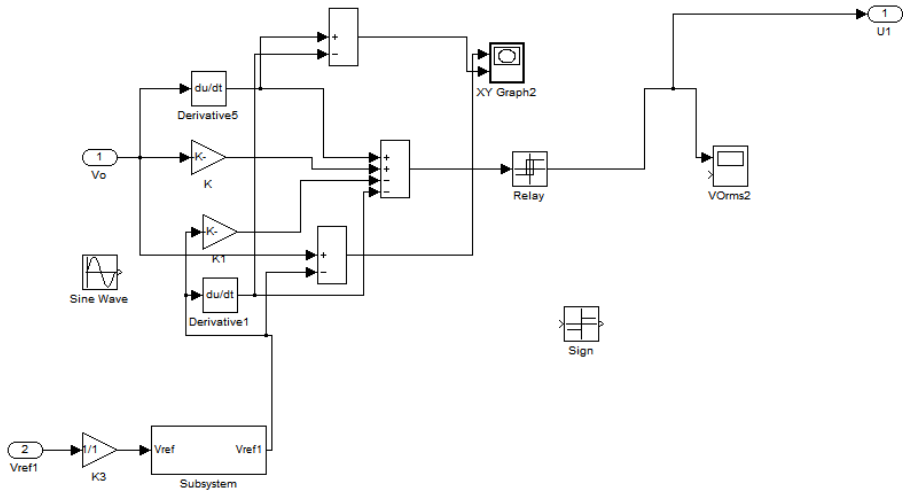
a.) Simulink Matlab R2009A



b.) Power Simulator 9.0.3

## Lampiran 11

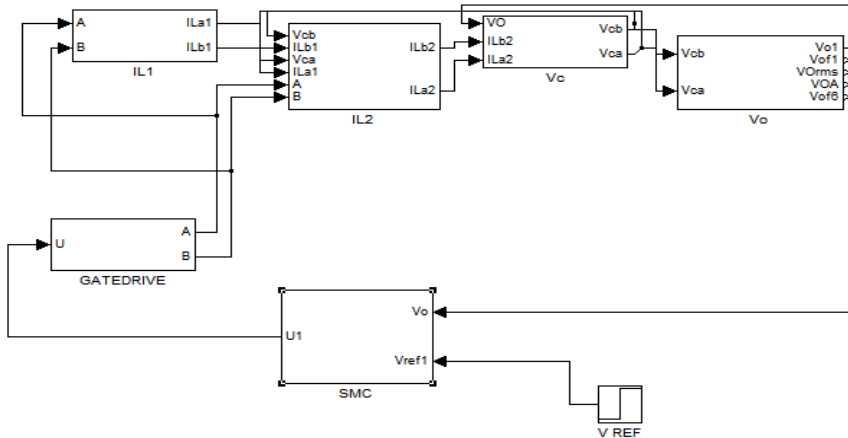
### Program SMC pada Simulink Matlab



Simulasi Sliding Mode Control menggunakan Simulink MATLAB R2009a

## Lampiran 12

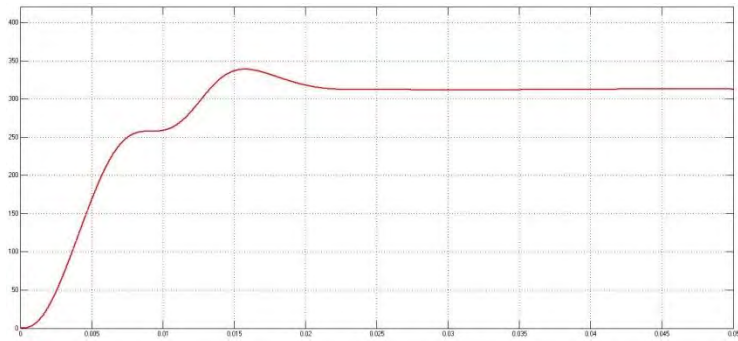
### Program sistem pengendalian IBBSF-IP dengan SMC pada Simulink Matlab



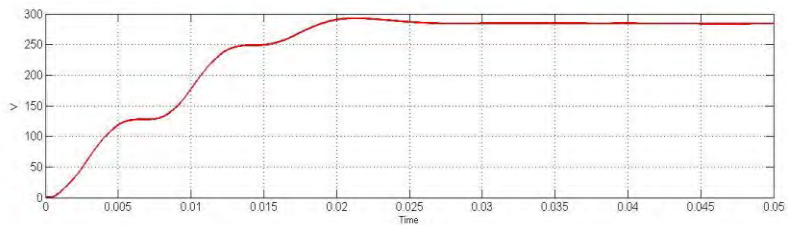
Simulasi Sistem pengendalian tegangan keluaran IBBSF-IP dengan SMC menggunakan Simulink MATLAB R2009a

## Lampiran 13

**Respon linear sistem pada penggunaan lowpass dan bandpass filter pada setpoint 300 volt.**



**(a) Lowpass filter**



**(b) bandpass filter**

## Daftar Pustaka

1. *Topologies of single-phase inverters for small distributed power generators: an overview*. **Xue, Yaosuo and Chang, Liuchen**. s.l. : IEEE, 2004, IEEE Transactions On Power Electronics , Vol. 19, p. 1.
2. *A New Topology Of Three Phase Buck-Boost Inverter With Buffer Inductor*. **Darwito, Purwadi Agus, Soebagio and Purnomo, Mauridy Heri**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya : JATIT &LLS, 2013, Vol. 51.
3. *A new Three-Phase Boost Inverter:Topology and Controller*. **Koushki, B, et al**. Isfahan : IEEE.
4. **Rashid, M.H.** *Power Electronics Circuits, Devices and Application*. London : Prentice-Hall International, 1993.
5. *A Comparison Between the Buck, Boost and Buck-Boost Inverters*. **Almazan, J, et al**. Instituto De Celaya, Celaya,Mexico : IEEE, 2000.
6. **Shittesal, Y.** *Sliding Mode Control and Observation*. New York : Springer Science+Bussines, 2013.
7. **Tan, Siew-Chong, Lai, Yuk Ming and Tse, Chi Kong.** *Sliding Mode Control of Switching Power Converters*. s.l. : CRC Press, 2012.
8. *A Comparison between Buck-Boost Inverter with and without Buffer Inductor*. **Darwito, Purwadi Agus, Soebagio and Purnomo, Mauridy Heri**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, IPTEK, *The Journal for Technology and Science*, Vol. 23, Number 2, May 2012



9. *A Basic Introduction to Filters—Active, Passive, and Switched-Capacitor*. **Lacanette, Kerry**. National Semiconductor. Application Note 779. April 21, 2010
  
10. *A Boost DC–AC Converter: Analysis, Design, and Experimentation* **Ram'ón O. C'aceres, Ivo Barbi**. IEEE Transactions On Power Electronics, VOL. 14, NO. 1, January 1999
  
11. *AC Motor Selection and Application Guard*, **GE Industrial Systems**, Fort Wayne, Indiana
  
12. *Analisa Performansi dan Robustness ,Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC*. **Wicaksono, Handy**. Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra. Jurnal Teknik Elektro Vol. 4, No. 2, September 2004: 70 – 78
  
13. *Control Systems Engineering*. **S.Nise, Norman**. California State Polytechnic University, Pomona. John Wiley&Sons.Inc. USA

### **Biodata Penulis**

Penulis lahir pada tanggal 29 Juli 1993 di Bangkalan, Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN Demangan 2 Bangkalan lulus pada tahun 2005, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Bangkalan dan lulus tahun 2008, lalu melanjutkan sekolahnya ke SMAN 1 Bangkalan lulus tahun 2011 dan saat ini sedang menempuh studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

